



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**PEMODELAN KANAL PADA JARINGAN AREA TUBUH  
NIRKABEL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
*BLUETOOTH***

Rizal Nur Ibrahim  
NRP 2212100039

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Eko Setijadi ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - TE 141599**

## **CHANNEL MODELLING IN WIRELESS BODY AREA NETWORK USING BLUETOOTH TECHNOLOGY**

Rizal Nur Ibrahim  
NRP 2212100039

Supervisors  
Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Eko Setijadi ST., MT., Ph.D

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**PEMODELAN KANAL PADA JARINGAN AREA  
TUBUH NIRKABEL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
*BLUETOOTH***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I,**



**Dr. Ir. Wirawan, DEA.**  
**NIP. 196311091989031011**

**Dosen Pembimbing II,**



**Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 196510141990021001**



# **PEMODELAN KANAL PADA JARINGAN AREA TUBUH NIRKABEL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *BLUETOOTH***

Rizal Nur Ibrahim  
NRP. 2212 100 039

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Dosen Pembimbing II : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Pada *wireless body area network* (WBAN), propagasi radio dari node sensor yang berada di permukaan tubuh manusia sangat kompleks dan unik bila dibandingkan dengan lingkungan yang lain karena tubuh manusia memiliki bentuk yang kompleks dan terdiri dari jaringan tubuh manusia yang berbeda-beda. Oleh karena itu, model kanalnya juga berbeda dengan model kanal di lingkungan lain.

Telekomunikasi nirkabel pada aplikasi jaringan area tubuh membutuhkan *Medium Access Control* (MAC) yang dapat beradaptasi, dinamis, dan fleksibel untuk mengatasi berbagai persyaratan aplikasi. MAC yang diusulkan menyesuaikan protokol komunikasi dan parameter yang berdasarkan kepada pencapaian konsumsi daya rendah dan laju data yang tinggi untuk itu dipilih salah satu teknologi komunikasi yang memungkinkan untuk hal ini yaitu *Bluetooth*. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan kanal pada WBAN untuk mendapatkan bentuk kanal yang sesuai dengan karakteristik tubuh manusia. Dimana pemodelan kanal ini di fokuskan pada teknologi *Bluetooth* dengan frekuensi 2,4 GHz. Selain itu, dalam pengerjaannya dilakukan simulasi menggunakan *software* MATLAB.

**Kata Kunci :** Pemodelan Kanal, WBAN

# **CHANNEL MODELLING IN WIRELESS BODY AREA NETWORK USING BLUETOOTH TECHNOLOGY**

Rizal Nur Ibrahim  
2212 100 039

Supervisor I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Supervisor II : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRACT**

In a wireless body area network (WBAN), radio propagation from sensor nodes that are on the surface of the human body is very complex and unique when compared to other environments. Because, the human body has a complex shape and is composed of different body tissue. Therefore, the channel model is also different.

Wireless telecommunications in body area networks applications requiring Medium Access Control (MAC) that can be adaptable, dynamic, and flexible enough to cope with a wide range of application requirements. MAC is proposed to adjust the communication protocol and the parameters are based on the achievement of low power consumption and high data rates for the selected communications technology that allows this is the Bluetooth. In this final project will be conducted modeling to get the channel on WBAN channel shape that corresponds to the human body characteristic. Where the channel modeling is focused on Bluetooth technology with a frequency of 2.4 GHz. Moreover, in the process simulation using MATLAB software.

**Keyword :** Channel Modelling, WBAN

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxi</b>
<b>1 BAB 1.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	4
1.7 Relevansi .....	4
<b>2 BAB 2.....</b>	<b>5</b>
2.1 Wireless Body Area Network.....	5
2.2 Sinyal Tubuh .....	7
2.2.1 Electroencephalogram (EEG).....	7
2.2.2 Electrocardiogram (ECG).....	7
2.2.3 Electromyogram (EMG).....	8
2.2.4 Electrooculography (EOG).....	8
2.3 Bluetooth .....	8
2.4 Sifat Elektris dari Jaringan Tubuh Manusia .....	9
2.5 Karakterisasi Kanal.....	10
2.6 Fading.....	10
2.6.1 Small-Scale Fading.....	11

2.6.2	Large-Scale Fading .....	11
2.7	Path Loss .....	11
2.8	Shadowing.....	12
2.9	Fungsi Statistik.....	12
2.9.1	Fungsi BETA .....	13
2.9.2	Fungsi Eksponensial.....	13
2.9.3	Fungsi Gamma .....	13
2.9.4	Fungsi Gamma .....	13
2.9.5	Fungsi Triangular .....	14
2.9.6	Fungsi Weibull .....	14
2.10	Mean Square Error (MSE) .....	14
<b>3</b>	<b>BAB 3 .....</b>	<b>15</b>
3.1	Definisi dan Gambaran Umum.....	15
3.2	Skenario .....	16
3.2.1	Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK1 (Skenario 1) .....	18
3.2.2	Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK2 (Skenario 2) .....	20
3.2.3	Permukaan Tubuh ke Node Eksternal MK3 & MK 4 (Skenario 3 & 4).....	22
<b>4</b>	<b>BAB 4 .....</b>	<b>25</b>
4.1	Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK1 (1) .....	25
4.1.1	Pendekatan menggunakan fungsi BETA .....	26
4.1.2	Pendekatan menggunakan fungsi Eksponensial.....	27
4.1.3	Pendekatan menggunakan fungsi Gamma .....	28
4.1.4	Pendekatan menggunakan fungsi Normal.....	28
4.1.5	Pendekatan menggunakan fungsi Triangular .....	29
4.1.6	Pendekatan menggunakan fungsi Weibull .....	30
4.2	Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK1 (2) .....	31

4.2.1	Pendekatan menggunakan fungsi BETA.....	33
4.2.2	Pendekatan menggunakan fungsi Eksponensial .....	34
4.2.3	Pendekatan menggunakan fungsi Gamma.....	35
4.2.4	Pendekatan menggunakan fungsi Normal .....	35
4.2.5	Pendekatan menggunakan fungsi Triangular .....	36
4.2.6	Pendekatan menggunakan fungsi Weibull .....	37
4.3	Permukaan Tubuh ke Node Eksternal MK2 (3 & 4) .....	38
4.3.1	Jarak 1 Meter.....	40
4.3.1.1	Sudut Orientasi $0^0$ .....	40
4.3.1.2	Sudut Orientasi $90^0$ .....	42
4.3.1.3	Sudut Orientasi $180^0$ .....	43
4.3.1.4	Sudut Orientasi $270^0$ .....	44
4.3.2	Jarak 2 Meter.....	46
4.3.2.1	Sudut Orientasi $0^0$ .....	46
4.3.2.2	Sudut Orientasi $90^0$ .....	47
4.3.2.3	Sudut Orientasi $180^0$ .....	48
4.3.2.4	Sudut Orientasi $270^0$ .....	49
4.3.3	Jarak 3 Meter.....	51
4.3.3.1	Sudut Orientasi $0^0$ .....	51
4.3.3.2	Sudut Orientasi $90^0$ .....	52
4.3.3.3	Sudut Orientasi $180^0$ .....	53
4.3.3.4	Sudut Orientasi $270^0$ .....	55
4.3.4	Jarak 4 Meter.....	56
4.3.4.1	Sudut Orientasi $0^0$ .....	56
4.3.4.2	Sudut Orientasi $90^0$ .....	57
4.3.4.3	Sudut Orientasi $180^0$ .....	59
4.3.4.4	Sudut Orientasi $270^0$ .....	60



4.4	Penerapan pada Sistem Bluetooth .....	61
<b>5.</b>	<b>BAB 5 .....</b>	<b>65</b>
5.1	Kesimpulan .....	65
5.2	Saran.....	66
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>67</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>69</b>
A.	Pengesahan Proposal Tugas Akhir .....	69
B.	Kode Program Matlab .....	70
a)	MK1 (Skenario 1) .....	70
b)	MK1 (Skenario 2) .....	70
c)	MK2 (Skenario 3 & 4) .....	71
C	Nilai Path Loss pada Skenario 1.....	72
D	Nilai Path Loss pada Skenario 2.....	72
E	Nilai Path Loss pada Skenario 3 & 4 .....	73
a)	Jarak 1 Meter .....	73
b)	Jarak 2 Meter .....	73
c)	Jarak 3 Meter .....	74
d)	Jarak 4 Meter .....	74
	<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Flowchart Metodologi.....	3
<b>Gambar 2.1</b> Lokasi node sensor pada tubuh.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Laju Data vs Konsumsi Daya .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Blok diagram sistem Bluetooth.....	9
<b>Gambar 2.4</b> Kategori Fading .....	11
<b>Gambar 3.1</b> Link komunikasi yang memungkinkan pada WBAN dengan frekuensi 2,4 GHz (Bluetooth).....	17
<b>Gambar 3.2</b> Posisi pengukuran skenario 1 .....	18
<b>Gambar 3.3</b> Posisi pengukuran skenario 2 .....	20
<b>Gambar 3.4</b> Posisi node pengirim pada tubuh manusia untuk skenario 3 & 4.....	22
<b>Gambar 3.5</b> Posisi pengukuran skenario 3 & 4 .....	23
<b>Gambar 4.1</b> Nilai Path Loss vs Jarak.....	25
<b>Gambar 4.2</b> Histogram data Path Loss Skenario 1 .....	26
<b>Gambar 4.3</b> Pendekatan menggunakan fungsi BETA .....	26
<b>Gambar 4.4</b> Pendekatan menggunakan fungsi Eksponensial.....	27
<b>Gambar 4.5</b> Pendekatan menggunakan fungsi Gamma .....	28
<b>Gambar 4.6</b> Pendekatan menggunakan fungsi Normal.....	28
<b>Gambar 4.7</b> Pendekatan menggunakan fungsi Triangular .....	29
<b>Gambar 4.8</b> Pendekatan menggunakan fungsi Weibull.....	30
<b>Gambar 4.9</b> Nilai Path Loss vs Jarak.....	31
<b>Gambar 4.10</b> Nilai Small-scale Fading vs Path Loss.....	31
<b>Gambar 4.11</b> Histogram data Path Loss Skenario 2 .....	32
<b>Gambar 4.12</b> Pendekatan menggunakan fungsi BETA .....	33

<b>Gambar 4.13</b> Pendekatan menggunakan fungsi Eksponensial .....	34
<b>Gambar 4.14</b> Pendekatan menggunakan fungsi Gamma.....	34
<b>Gambar 4.15</b> Pendekatan menggunakan fungsi Normal .....	35
<b>Gambar 4.16</b> Pendekatan menggunakan fungsi Triangular.....	36
<b>Gambar 4.17</b> Pendekatan menggunakan fungsi Weibull.....	36
<b>Gambar 4.18</b> Histogram data Path Loss pada jarak 1 meter dengan orientasi $0^0$ .....	40
<b>Gambar 4.19</b> Histogram data Path Loss pada jarak 1 meter dengan orientasi $90^0$ .....	41
<b>Gambar 4.20</b> Histogram data Path Loss pada jarak 1 meter dengan orientasi $180^0$ .....	42
<b>Gambar 4.21</b> Histogram data Path Loss pada jarak 1 meter dengan orientasi $270^0$ .....	43
<b>Gambar 4.22</b> Histogram data Path Loss pada jarak 2 meter dengan orientasi $0^0$ .....	44
<b>Gambar 4.23</b> Histogram data Path Loss pada jarak 2 meter dengan orientasi $90^0$ .....	45
<b>Gambar 4.24</b> Histogram data Path Loss pada jarak 2 meter dengan orientasi $180^0$ .....	46
<b>Gambar 4.25</b> Histogram data Path Loss pada jarak 2 meter dengan orientasi $270^0$ .....	47
<b>Gambar 4.26</b> Histogram data Path Loss pada jarak 3 meter dengan orientasi $0^0$ .....	48
<b>Gambar 4.27</b> Histogram data Path Loss pada jarak 3 meter dengan orientasi $90^0$ .....	49

<b>Gambar 4.28</b> Histogram data Path Loss pada jarak 3 meter dengan orientasi $180^0$ .....	50
<b>Gambar 4.29</b> Histogram data Path Loss pada jarak 3 meter dengan orientasi $270^0$ .....	51
<b>Gambar 4.30</b> Histogram data Path Loss pada jarak 4 meter dengan orientasi $0^0$ .....	52
<b>Gambar 4.31</b> Histogram data Path Loss pada jarak 4 meter dengan orientasi $90^0$ .....	53
<b>Gambar 4.32</b> Histogram data Path Loss pada jarak 4 meter dengan orientasi $180^0$ .....	54
<b>Gambar 4.33</b> Histogram data Path Loss pada jarak 4 meter dengan orientasi $270^0$ .....	55
<b>Gambar 4.34</b> BER vs SNR dari modulasi GFSK pada kanal AWGN.	57
<b>Gambar 4.35</b> Rancangan WBAN dengan menggunakan teknologi Bluetooth.....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Daftar Frekuensi .....	15
<b>Tabel 3.2</b> Daftar Skenario dan Deskripsinya.....	17
<b>Tabel 3.3</b> Jarak Antara node penerima dan node pengirim .....	19
<b>Tabel 3.4</b> Parameter Path Loss 1 .....	19
<b>Tabel 3.5</b> Parameter Path Loss 2 .....	21
<b>Tabel 3.6</b> Parameter Small-scale Fading .....	21
<b>Tabel 4.1</b> Nilai MSE dari jenis fungsi untuk skenario 1.....	30
<b>Tabel 4.2</b> Nilai MSE dari jenis fungsi untuk skenario 2.....	37
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Path Loss skenario 3 & 4.....	38
<b>Tabel 4.4</b> Jenis Fungsi Distribusi .....	39
<b>Tabel 4.5</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	40
<b>Tabel 4.6</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	41
<b>Tabel 4.7</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	42
<b>Tabel 4.8</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	43
<b>Tabel 4.9</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	44
<b>Tabel 4.10</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	45
<b>Tabel 4.11</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	46
<b>Tabel 4.12</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	47
<b>Tabel 4.13</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	48
<b>Tabel 4.14</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	50
<b>Tabel 4.15</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	51
<b>Tabel 4.16</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	52
<b>Tabel 4.17</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	53
<b>Tabel 4.18</b> Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....	54

**Tabel 4.19** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....55

**Tabel 4.20** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi.....56

**Tabel A.1** Nilai Path Loss skenario 1.....66

**Tabel A.2** Nilai Path Loss skenario 2.....66

**Tabel A.3** Nilai Path Loss skenario 3 & 4 pada jarak 1 meter .....67

**Tabel A.4** Nilai Path Loss skenario 3 & 4 pada jarak 2 meter .....67

**Tabel A.5** Nilai Path Loss skenario 3 & 4 pada jarak 3 meter .....68

**Tabel A.6** Nilai Path Loss skenario 3 & 4 pada jarak 4 meter .....68

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem komunikasi masa depan didorong oleh konsep terkoneksi dimanapun dan kapanpun yang mana hal ini juga diterapkan pada bidang kesehatan medis. Komunikasi medis nirkabel membantu pekerjaan manusia dan menggantikan kabel-kabel yang ada di rumah sakit. Salah satu contohnya adalah wireless medical telemetry yang mana memantau jarak jauh kesehatan pasien melalui teknologi radio. Hal ini memberikan mobilitas yang tinggi dan meningkatkan kenyamanan untuk pasien dengan membebaskan mereka dari keharusan untuk terkoneksi dengan peralatan di rumah sakit yang memonitor keadaan mereka. Hal ini meningkatkan kualitas dari pelayanan pasien dan efisiensi dari kemampuan administrasi dari rumah sakit. Lebih lagi, wireless medical telemetry juga memenuhi tujuan dalam menurunkan biaya kesehatan karena dapat memonitor dengan jarak jauh beberapa pasien secara bersamaan. Perkembangan teknologi ini akan menuju ke WBAN.

Dari pemahaman umum mengenai WBAN, dapat dengan jelas diketahui bahwa teknologi komunikasi yang digunakan adalah komunikasi jarak pendek. IEEE 802.15.1 Bluetooth beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz ISM, dari 2400 MHz sampai 2483,5 MHz. system tersebut menggunakan skema akses frequency-hopping untuk mencegah interference dan fading. Laju symbolnya adalah 1 Msymbol/detik yang mendukung laju bit sampai 1 Mbit/detik. Contoh, sinyal elektrokardiogram dari masing-masing kanal di digitalisasi pada 360 Hz dengan resolusi 11 bit dan laju data 3,84 Kbps tiap kanal, sehingga semua kanal pada elektrokardiogram memungkinkan untuk dikirim menggunakan Bluetooth. Selain itu, forward error control (FEC) dan automatic repeat request (ARQ) untuk pentranmisian kembali digunakan sebagai otentikasi untuk memastikan komunikasi yang handal.

Tugas akhir ini menawarkan prosedur untuk mendapatkan model dan karakteristik kanal untuk WBAN yang berdasarkan pada parameter kanal dari pengukuran.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara memodelkan bentuk kanal dari WBAN?
2. Bagaimana rumus *path loss* yang digunakan pada WBAN?
3. Apa perbedaan rumus *path loss* yang digunakan pada WBAN dengan rumus *path loss* yang digunakan pada sistem telekomunikasi pada umumnya ?
4. Model Kanal apa yang paling mungkin untuk digunakan pada WBAN?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Kanal WBAN yang disimulasikan adalah antara permukaan tubuh baik LOS (*line of sight*) maupun NLOS (*non-line of sight*) dan juga antara permukaan tubuh dengan node eksternal
2. Model kanal yang disimulasikan pada tugas akhir ini adalah model kanal empiris
3. Frekuensi yang digunakan adalah frekuensi *Bluetooth* yaitu 2,4 Ghz

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan karakteristik bentuk kanal yang sesuai untuk WBAN
2. Mengetahui bentuk kanal lain yang mungkin dapat digunakan pada WBAN

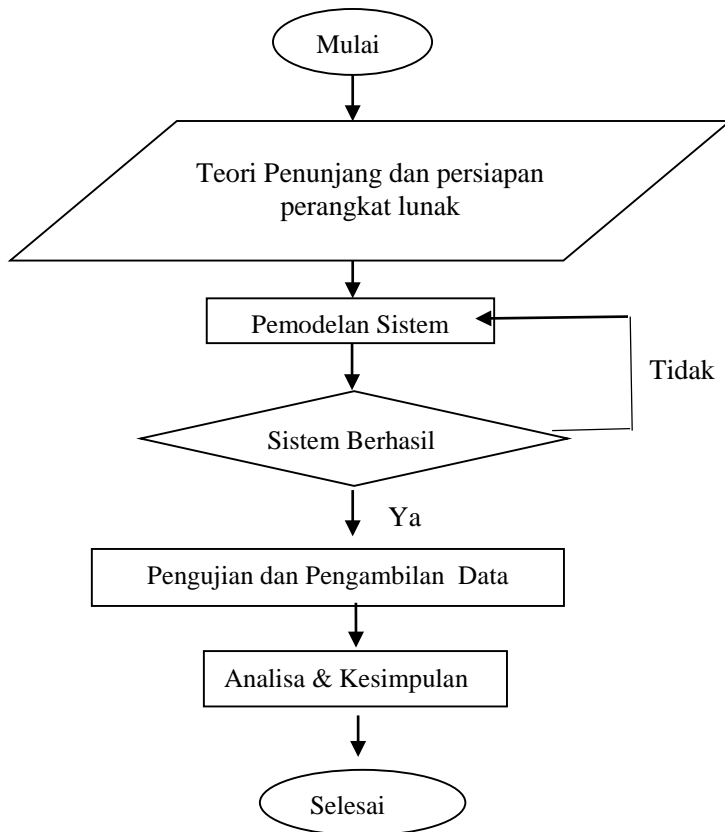
## 1.5 Metodologi

Metode yang digunakan untuk Tugas Akhir ini bisa dilihat pada bagan. Proses ini merupakan langkah yang harus dilakukan secara sistematis demi kelancaran penelitian :

- Teori Penunjang dan Persiapan Perangkat Lunak : Studi yang dilakukan untuk mencari referensi yang sesuai untuk desain sistem disertai juga diskusi untuk menemukan referensi yang tepat.
- Pemodelan Sistem : Sistem dimodelkan dengan menggunakan MATLAB dan berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya.



- Simulasi Sistem : Simulasi ini akan menghitung *path loss* dari WBAN sesuai dengan rumus yang sudah ditentukan.
- Pengujian dan Pengambilan : Parameter diidentifikasi apakah sesuai dengan sistem yang seharusnya atau perlu diperbaiki.
- Analisa dan Kesimpulan : Analisa dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan serta identifikasi sistem.



Gambar 1.1 Flowchart metodologi

## **1.6 Sistematika Pembahasan**

Proses penelitian yang tersusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut :

### **Bab I Pendahuluan**

Berisi tentang penjelasan mengapa mengambil topik Tugas Akhir ini. Serta berisi tentang batasan masalah serta manfaat dari Tugas Akhir.

### **Bab II Dasar Teori**

Berisi tentang dasar teori penunjang untuk pengerjaan Tugas Akhir ini. Diantaranya adalah karakteristik tubuh manusia, WBAN, dan *Bluetooth*. Teori ini bertujuan untuk membantu pemahaman dan pengaplikasian.

### **Bab III Perancangan Simulasi**

Pada bab ini dijelaskan mengenai bagaimana skenario simulasi dibuat. Desain sistem mulai dari pemancar dan penerima serta blok diagram juga dijelaskan.

### **Bab IV Analisis Data dan Pembahasan**

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari simulasi yang dibuat. Setelah hasil diperoleh, analisa awal juga dilakukan untuk mengetahui kesimpulannya.

### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Mendapatkan bentuk kanal yang sesuai pada WBAN sehingga komunikasi antar node sensor dapat berjalan dengan baik.
2. Membantu perkembangan teknologi WBAN

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **1.1      *Wireless Body Area Network***

*Body Area Network* (BAN) adalah sebuah jaringan yang terdiri dari node heterogen yang dapat merasakan, menggerakkan, melakukan perhitungan, dan berkomunikasi antara satu dengan yang lain melalui kanal nirkabel. BAN mengambil, memproses, dan menyimpan data-data fisiologis (seperti *electrocardiogram* (ECG) dan tekanan darah), aktivitas (seperti berjalan, berlari, dan tidur), dan lingkungan (seperti suhu, kelembapan, dan adanya zat allergen) dari tubuh manusia dan lingkungan sekitarnya, bahkan juga dapat melakukan pengobatan langsung (pengiriman obat) melalui data yang didapat. BAN dapat sangat berguna dalam membantu tenaga medis profesional untuk melakukan keputusan apa saja yang bersangkutan dengan pengobatan pasien dengan cara memberikan informasi yang kontinyu mengenai kondisi pasien.

BAN termasuk kedalam *wireless sensor network* (WSN). Pada awalnya, BAN berkembang dari *wireless personal area network* (WPAN) yang kemudian berkembang ke dunia medis yaitu seperti *pulse oximeters* dan retina prostetik yang dipasang di tubuh manusia dan terkoneksi melalui kanal *wireless*. Di rumah sakit, BAN di koneksikan dengan peralatan rumedis lainnya seperti monitor Holter dan perekam data medis untuk membentuk sebuah jaringan alat medis untuk pasca-operasi atau untuk memonitoring pasien ICU.

Sensor merupakan hal yang penting dan terdapat berbagai bentuk, sensor pada BAN memiliki beberapa sifat penting sebagai berikut.

- Memiliki kemampuan heterogen dan didesain agar tidak mengganggu pengguna (*host*). Karena itu, sensor pada BAN memiliki bentuk, sumber tenaga, memory, penghitungan, dan kemampuan komunikasi yang terbatas jika dibandingkan dengan node sensor generic, sehingga mengharuskan BAN untuk menggunakan node dalam jumlah banyak untuk mengambil data kesehatan pasien yang handal dan tanpa kesalahan.

- Sensor memungkinkan untuk di implant atau dipakai di alam, sensor yang diimplan harus memenuhi persyaratan keamanan, keselamatan, dan ketahanan.
- Sensor didesain untuk mengukur beberapa rangsangan dari lingkungannya (tubuh manusia).
- Sensor didesain untuk kondisi yang ekstrim seperti pada perubahan suhu dan pada kondisi berair atau asam.
- Sensor berkemungkinan ditenagai menggunakan sumber tenaga seperti gerakan tubuh, panas tubuh, dan *biofuels* seperti gula darah.

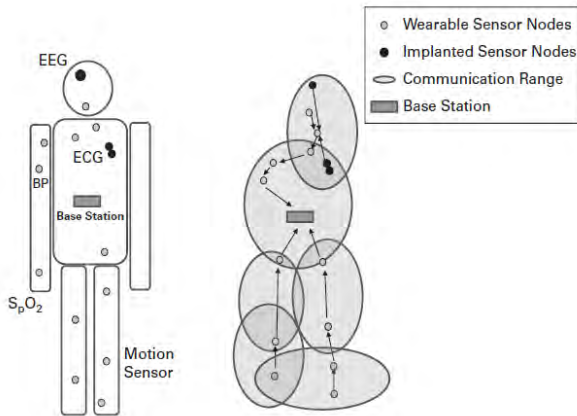
Sebagai contoh, alat pacu jantung yang diimplan harus beroperasi pada tingkat keasaman cairan tubuh dan beroperasi menggunakan tenaga yang berasal dari panas tubuh.

Tiap BAN memiliki satuan control yang disebut *base station*, yang mana mengambil dan memproses data dari tiap node sensor secara berkala. Ukuran jaringan BAN bisa bervariasi mulai dari jaringan kecil dengan beberapa node sampai ke jaringan besar dengan ratusan node. Dengan kata lain, BAN dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, termasuk manajemen kesehatan olahraga, pusat kesehatan di rumah untuk orang tua, dan penanganan pasca-operasi.

BAN terdiri dari dua komponen: (1) node sensor, yang mana memiliki kemampuan penghitungan yang rendah; dan (2) *base station*, yang mana merupakan alat penghitung berkemampuan tinggi seperti *smartphone* atau PDA. Pada BAN, tiap komponen berkomunikasi satu sama lain melalui kanal *wireless*, karena jika menggunakan kabel antar sensor akan mengganggu. Sensor komunikasi diasumsikan menjadi handal dan tiap sensor di sinkronisasikan berdasarkan waktu, menggunakan skema berbasis waktu kedatangan paket. Tiap node di BAN yang berdekatan dapat berkomunikasi melalui jaringan *one-hop* (dipengaruhi oleh jangkauan komunikasi). Penjelasan mengenai WBAN dapat dilihat secara lengkap pada referensi [6].

Pada gambar 2.1 tiap node sensor seperti EEG (electroencephalogram) yang berada di kepala, ECG (electrocardiogram) yang berada di pergelangan tangan, dada bagian kiri, atau juga di leher dan EMG (electromyogram) yang berada di tangan atau kaki akan mengirimkan sinyal ke base station yang berada di bagian perut. Setelah dikumpulkan di base station, data dari tiap-tiap node sensor akan dikirim ke node eksternal seperti PC ataupun monitor yang kemudian akan

dikirimkan ke dokter sehingga dokter dapat melakukan tindakan yang sesuai pada pasien tanpa perlu harus bertemu langsung dengan pasien.



Gambar 2.1 Lokasi node sensor pada tubuh.

## 1.2 Sinyal Tubuh

Yang dimaksud dengan sinyal tubuh adalah segala sinyal yang berada pada makhluk hidup yang dapat diukur dan diamati secara kontinyu sinyal tubuh yang diketahui dan sudah dapat diukur adalah:

Penjelasan lengkap mengenai sinyal tubuh dapat dilihat pada referensi [6]

### 1.2.1 *Electroencephalogram (EEG)*

Adalah proses merekam aktivitas elektrik di sepanjang kulit kepala. EEG mengukur fluktuasi tegangan yang dihasilkan oleh arus ion di dalam neuron otak. Dalam konteks klinis, EEG mengacu kepada perekaman aktifitas elektrik spontan dari otak selama periode tertentu yang direkam dari banyak elektroda yang dipasang di kulit kepala.

### 1.2.2 *Electrocardiogram (ECG)*

Adalah proses perekaman aktifitas elektris dari jantung pada waktu tertentu dengan menggunakan elektroda yang ditempatkan pada permukaan kulit. Elektroda tersebut mendeteksi perubahan sinyal listrik yang sangat kecil pada permukaan kulit yang diakibatkan oleh otot jantung yang berdetak. Node sensor dipasang pada permukaan tubuh yang

memungkinkan untuk merekam detak jantung seperti pada pergelangan tangan, dada bagian kiri, leher, dll.

### 1.2.3 *Electromyogram (EMG)*

Adalah teknik untuk memeriksa dan merekam aktifitas sinyal otot. EMG mendeteksi potensi listrik yang dihasilkan oleh sel otot ketika otot bergerak (aktif) dan ketika sedang istirahat. Node sensor dapat dipasang pada permukaan tubuh yang dapat bergerak seperti pada tangan dan kaki.

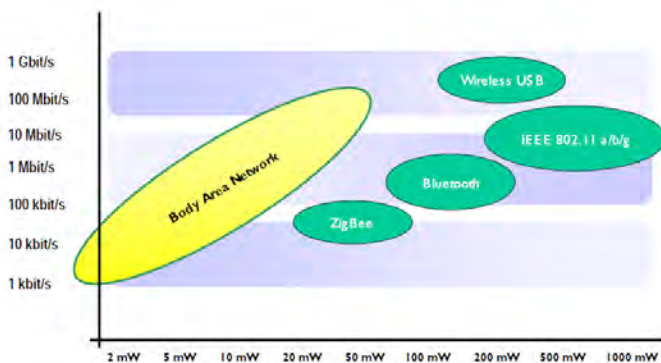
### 1.2.4 *Electrooculography (EOG)*

Adalah teknik untuk mengukur potensi kornea-retina yang berada di depan dan belakang mata manusia. Aplikasi utama dari teknik ini adalah untuk mendiagnosa mata dan merekam pergerakan mata.

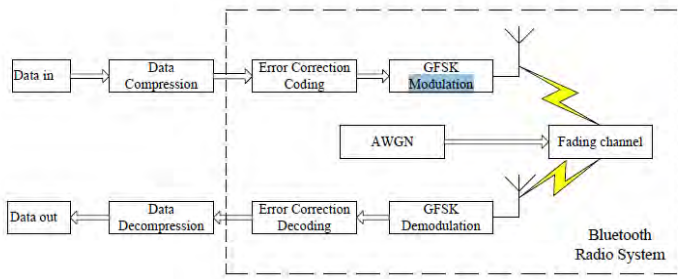
## 1.3 *Bluetooth*

Awal mula dari *Bluetooth* adalah sebagai teknologi komunikasi nirkabel yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dengan menggunakan sebuah *frequency hopping transceiver* yang mampu menyediakan layanan komunikasi data dan suara secara *real-time* antara *host-host Bluetooth* dengan jarak jangkauan layanan yang terbatas yakni sekitar 10 meter.

Dari pemahaman umum mengenai WBAN, dapat dengan jelas diketahui bahwa teknologi komunikasi yang digunakan adalah komunikasi jarak pendek.



Gambar 2.2 Laju data vs konsumsi daya



Gambar 2.3 Blok diagram sistem *Bluetooth*.

IEEE 802.15.1 *Bluetooth* beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz ISM, dari 2400 MHz sampai 2483,5 MHz. system tersebut menggunakan skema akses *frequency-hopping* untuk mencegah *interference* dan *fading*. Laju symbolnya adalah 1 Msymbol/detik yang mendukung laju bit sampai 1 Mbit/detik. Contoh, sinyal elektrokardiogram dari masing-masing kanal di digitalisasi pada 360 Hz dengan resolusi 11 bit dan laju data 3,84 Kbps tiap kanal, sehingga semua kanal pada elektrokardiogram memungkinkan untuk dikirim menggunakan *Bluetooth*. Selain itu, *forward error control* (FEC) dan *automatic repeat request* (ARQ) untuk pentranmisian kembali digunakan sebagai otentikasi untuk memastikan komunikasi yang handal.

Gambar 2.3 menjelaskan mengenai blok diagram dari keseluruhan sistem *Bluetooth*. Pertama, sinyal yang sudah di digitalisasi dimasukkan ke modul kompresi yang bertujuan untuk menurunkan kebutuhan transmisi dan kapasitas penyimpanan. Kemudian data yang sudah dikompresi ditransmisikan melalui sistem radio *Bluetooth* yang mana melewati *error correction coding* dan modulasi GFSK. Di penerima, proses yang sama dilakukan kembali agar didapat sinyal awal kembali. [6]

#### 1.4 Sifat Elektris dari Jaringan Tubuh Manusia

Tubuh manusia merupakan medium yang tidak ideal digunakan untuk transmisi frekuensi gelombang radio. Jaringan tubuh manusia sebagian bersifat konduktif dan tersusun dari material yang memiliki konstanta dielektrik, ketebalan, dan karakteristik impedansi yang berbeda. Oleh sebab itu, tergantung pada frekuensi kerja, tubuh manusia dapat menyebabkan *loss* yang tinggi akibat penyerapan daya, pergeseran

frekuensi, dan merusakkan pola radiasi. Efek penyerapan bervariasi besarnya dengan kedua frekuensi dari yang dipraktekkan dan karakteristik dari jaringan tubuh itu sendiri. [1]

### 1.5 Karakterisasi Kanal

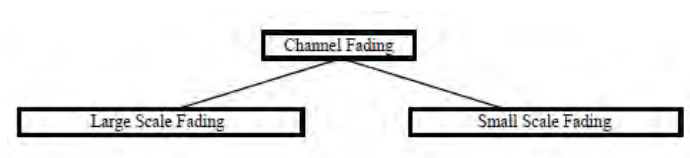
Terdapat dua model yang dapat dihasilkan, yaitu :

- Model Teoritis
- Model Empiris

Model teoritis dapat dilacak kembali ke prinsip-prinsip dasar propagasi elektromagnetik dan akan mengizinkan pemodelan yang tepat dari situasi tertentu di tingkat *radio link*. Hal ini digunakan untuk eksplorasi yang lebih rinci misalnya, pengaruh struktur tubuh terhadap pola radiasi antenna. Ini akan membutuhkan penjelasan yang rinci tentang lingkungan propagasinya dan oleh sebab itu, pemodelan ini tidak cocok digunakan untuk pemodelan pada lingkungan makro.

Model empiris dapat dilacak kembali pada set pengukuran propagasi yang telah disepakati dan dimaksudkan untuk memberikan dasar untuk pemodelan statistic dari kanal. Jika dibandingkan dengan model matematis, model empiris menggunakan deskripsi lingkungan yang disederhanakan. Meskipun dapat diperoleh statistic yang akurat pada tingkat *network*, tetapi tidak akan tepat pada tingkat *link*. Upaya yang tepat dapat dilakukan untuk memastikan bahwa dua set model dapat berkesinambungan satu sama lain. [1]

### 1.6 Fading



Gambar 2.4 Kategori *Fading*

Pada komunikasi WBAN, jalur propagasi dapat mengalami *fading* akibat berbagai macam alasan, seperti penyerapan energy oleh tubuh, refleksi, difraksi, *shadowing*, dan bentuk tubuh manusia. Alasan lain dari *fading* adalah karena *multipath* akibat lingkungan disekitar tubuh. *Fading* dapat dikategorikan menjadi dua kategori yaitu *small-scale fading* dan *large-scale fading*. [1]



Pada buku ini, hanya dibahas mengenai efek small-scale fading terhadap komunikasi WBAN.

### 1.6.1 *Small-scale fading*

*Small-scale fading* mengacu pada perubahan amplitude dan fasa yang sangat cepat dari sinyal yang diterima pada lingkup area yang kecil dikarenakan oleh perubahan kecil dari node yang berada di tubuh ataupun posisi tubuh pada waktu yang singkat. *Small-scale fading* dapat dibagi lagi menjadi *flat fading* dan *frequency selective fading*.

Untuk menghilangkan efek dari *small-scale fading* akibat dari perubahan posisi tubuh dapat dilakukan dengan merata-rata nilai atenuasi dari tiap posisi antenna yang ada di tubuh dan tiap antenna yang berada di ruangan tempat pengukuran.

Bentuk rumus small-scale fading adalah sebagai berikut :

$$K_{dB} = K_0 - m_K P_{dB} + \sigma_K n_K \quad (2.1)$$

- $K_0$  : pengukuran data untuk faktor K untuk *path loss* rendah
- $M_K$  : penurunan dari korelasi linear antara *path loss* dan faktor K
- $P_{dB}$  : *path loss* dalam dB
- $\sigma_K$  : varian lognormal dari data pengukuran antara *path loss* dan faktor K
- $N_K$  : mean unit dan varian dari variable acak Gauss

### 1.6.2 *Large-Scale Fading*

*Large-scale fading* adalah *fading* yang diakibatkan oleh gerakan pada area yang luas; hal ini mengacu kepada jarak antar antenna di tubuh dan node eksternal

### 1.7 *Path loss*

Tidak seperti pada sistem telekomunikasi nirkabel biasanya, *path loss* untuk WBAN sangat bergantung kepada jarak dan frekuensi. Ketergantungan frekuensi terhadap organ tubuh harus dipertimbangkan.

*Model path loss* dalam satuan dB antara *transmitter* dan *receiver* dibedakan menjadi 3 rumus yaitu yang digunakan untuk komunikasi LOS (*line of sight*) dan komunikasi NLOS (*non-line of sight*).

Untuk komunikasi LOS digunakan rumus pathloss sebagai berikut:

$$PL [dB] = a \log_{10} (d) + b + c + N \quad (2.2)$$

PL : *Path loss*  
 a dan b : koefisien linear  
 d : jarak Tx dan Rx dalam mm  
 N : variable fungsi normal dengan standar deviasi  $\sigma_N$

Sedangkan untuk komunikasi NLOS digunakan rumus path loss sebagai berikut:

$$PL_{dB} = -10 \log_{10} (P_0 e^{-m_0 d} + P_1) + \sigma_p n_p \quad (2.3)$$

PL : *Path loss*  
 $P_0$  : rata-rata loss di dekat antenna  
 $M_0$  : rata-rata peluruhan dalam dB/cm untuk perimeter permukaan tubuh  
 $P_1$  : rata-rata attenuasi dari komponen di lingkungan dalam ruangan  
 $\sigma_p$  : varian lognormal dalam dB

### 1.8 *Shadowing*

Akibat dari variasi lingkungan sekitar tubuh atau dari gerakan anggota tubuh, *path loss* akan berbeda dari nilai rata-rata yang dihasilkan pada persamaan (2.1). Fenomena ini dinamakan *shadowing*, dan hal ini menimbulkan variasi nilai *path loss*.

Ketika mempertimbangkan nilai *shadowing*, nilai total dari *path loss* menjadi :

$$PL = PL(d) + S \quad (2.4)$$

Dimana  $PL(d)$  adalah hasil dari persamaan (2.1) dan  $S$  adalah komponen *shadowing*. [1]

### 1.9 *Fungsi Statistik*

Pada WBAN, fungsi statistik diperlukan untuk memprediksi bentuk kanal yang akan digunakan. Ada berbagai macam bentuk fungsi statistik dan juga bentuk kanal yang fluktuatif sehingga diperlukan prediksi bentuk kanal. Bentuk dari fungsi statistik akan dijelaskan pada sub-bab dibawah.

### 1.9.1 Fungsi BETA

Fungsi BETA digunakan sebagai pemrediksi kasar dari data dengan nilai acak. Fungsi BETA memiliki persamaan:

$$f(x; a, b) = \frac{1}{\beta(a, b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1} \quad (2.5)$$

Dimana

$$\beta(a, b) = \int_0^1 x^{a-1} (1-x)^{b-1} \quad (2.6)$$

### 1.9.2 Fungsi Eksponensial

Fungsi Eksponensial diterapkan dalam teori reliabilitas, waktu tunggu, dan masalah antrian.

Dimana fungsi eksponensial memiliki persamaan:

$$EXP(x, \theta) = \theta e^{-\theta x} \quad (2.7)$$

### 1.9.3 Fungsi Gamma

Fungsi gamma diaplikasikan dalam lamanya waktu untuk menyelesaikan pekerjaan. Fungsi gamma sering diterapkan dalam teori antrian dan teori reliabilitas.

Dimana fungsi gamma memiliki persamaan:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x > 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.8)$$

Dimana

$$\text{Gamma}(\alpha, \beta) \equiv \Gamma(\alpha, \beta) \equiv X \quad (2.9)$$

### 1.9.4 Fungsi Normal

Distribusi normal disebut juga dengan distribusi Gauss. Fungsi distribusi normal memiliki persamaan:

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2\right)} \quad (2.10)$$

### 1.9.5 Fungsi Triangular

Fungsi Triangular memiliki bentuk seperti namanya, yaitu Segi tiga (*Triangle*). Komponen pembentuknya memiliki bentuk:

$$TR(\text{Min}, \text{Mode}, \text{Max}) \quad (2.11)$$

Dimana

Min = nilai minimum data

Mode = modus dari data

Max = nilai maksimum data

### 1.9.6 Fungsi Weibull

Fungsi Weibull biasanya digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang menyangkut lama waktu suatu objek yang mampu bertahan hingga akhirnya objek tersebut tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

Fungsi Weibull memiliki persamaan:

$$WEIB(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha\beta x^{\beta-1}e^{-\alpha x^\beta}, & x > 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.12)$$

### 1.10 Mean Square Error (MSE)

*Mean square error* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis atau mengukur kesalahan metode peramalan.

Rumus untuk mencari MSE adalah:

$$MSE = \frac{\sum (\text{Kesalahan Peramalan})^2}{n} \quad (2.13)$$

Dimana

n = jumlah sampel

Semakin kecil nilai dari MSE maka metode peramalan yang digunakan semakin baik.

## BAB 3

### PERANCANGAN SIMULASI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai bentuk model dan skenario yang digunakan dalam perancangan simulasi dari pemodelan kanal WBAN. Pada bab ini juga dijelaskan tentang parameter-parameter yang digunakan dalam rumus *path loss* yang akan digunakan.

#### 1.1 Definisi dan Gambaran Umum

Model kanal diperlukan untuk mengevaluasi kinerja dari lapisan fisik yang berbeda. Tujuan utama dari model kanal ini adalah untuk perbandingan dari usulan yang berbeda. Model kanal tidak digunakan untuk mendapatkan informasi kinerja yang absolut dari berbagai lingkungan atau postur tubuh. Daftar frekuensi yang dapat diukur ditunjukkan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Daftar Frekuensi

Deskripsi	Frekuensi
Implant	402-405 MHz
On-body	13.5 MHz
On-body	5-50 MHz
On-body	400 MHz
On-body	600 MHz
On-body	900 MHz
On-body	2.4 GHz
On-body	3.1-10.6 GHz

Pada tugas akhir ini, frekuensi yang digunakan adalah 2.4 GHz (*Bluetooth*) sehingga pengukuran yang dapat dilakukan adalah pengukuran On-Body baik antar permukaan tubuh maupun dari tubuh ke node eksternal.

Langka utama dalam pengembangan WBN adalah karakterisasi dari propagasi gelombang elektromagnetik dari perangkat yang dekat atau didalam tubuh. Kompleksitas dari struktur organ manusia dan bentuk tubuh membuatnya sangat sulit untuk mengukur *path loss* sederhana dari model WBAN. Antena dari aplikasi WBAN diletakkan pada atau didalam tubuh, model kanal dari WBAN harus mempertimbangkan pengaruh dari tubuh terhadap propagasi radionya.

Terdapat 3 tipe node yang didefinisikan sebagai berikut:

- 1) Node Implan: node yang diletakkan didalam tubuh manusia. Kemungkinan bisa diletakkan dibawah kulit ataupun jauh didalam organ tubuh.
- 2) Node permukaan tubuh: node yang diletakkan pada permukaan kulit manusia atau paling jauh sekitar 2 centimeter diatas kulit.
- 3) Node eksternal: node yang tidak bersentuhan dengan kulit manusia (diatas 2 cetimeter sampai 5 meter dari tubuh)

Untuk komunikasi pada permukaan tubuh, jarak antar node pengirim dan penerima harus mempertimbangkan jarak sekeliling tubuh jika pengirim dan penerima diletakkan tidak pada sisi yang sama. Hal ini mengakibatkan difraksi gelombang yang merambat harus dipertimbangkan pula. Untuk node komunikasi eksternal, jarak antara penerima dan pengirim harus jauh dari tubuh manusia dengan jarak maksimum 5 meter.

Batas maksimum daya yang digunakan untuk perangkat medis *on-body* ditentukan oleh regulasi regional dan internasional yang dideskripsikan sebagai berikut:

- ETSI (*European Telecommunication Standarts Institute*): daya output maksimum adalah 25 uW ERP
- FCC dan ITU-R: daya output maksimum adalah 25 uW EIRP atau 2.2 dB lebih rendah dari tingkat ERP.

Frekuensi yang digunakan untuk implan harus memiliki frekuensi 402-405 MHz. struktur dari model kanal untuk skenario pada permukaan tubuh dan implant tidaklah sama. Model kanal pada perangkat yang di implan sangatlah berbeda.

## 1.2 Skenario

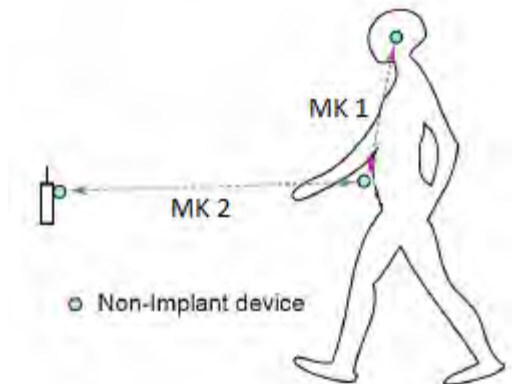
Pada tugas akhir ini, frekuensi yang digunakan adalah 2.4 GHz (*Bluetooth*) yang mana hanya dapat digunakan pada sistem komunikasi WBAN *on-body*. Akan tetapi, skenario yang digunakan dalam simulasi MATLAB yang akan dibuat diperluas lagi menjadi beberapa bagian yang dideskripsikan pada tabel dibawah ini.

**Tabel 3.2** Daftar Skenario dan Deskripsinya

Skenario	Deskripsi	Model Kanal
1	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (LOS)	MK1
2	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (NLOS)	MK2
3	Permukaan tubuh ke node eksternal (LOS)	MK3
4	Permukaan tubuh ke node eksternal (NLOS)	MK4

Kolom model kanal pada tabel 3.2 diatas membedakan antara jenis komunikasi yang digunakan baik komunikasi LOS (*line of sight*) maupun komunikasi NLOS (*non-line of sight*) dan juga komunikasi antar permukaan tubuh atau dari permukaan tubuh ke node eksternal.

Jarak maksimal dari perangkat eksternal adalah 5 meter. Hubungan komunikasi yang memungkinkan dideskripsikan pada gambar 3.1

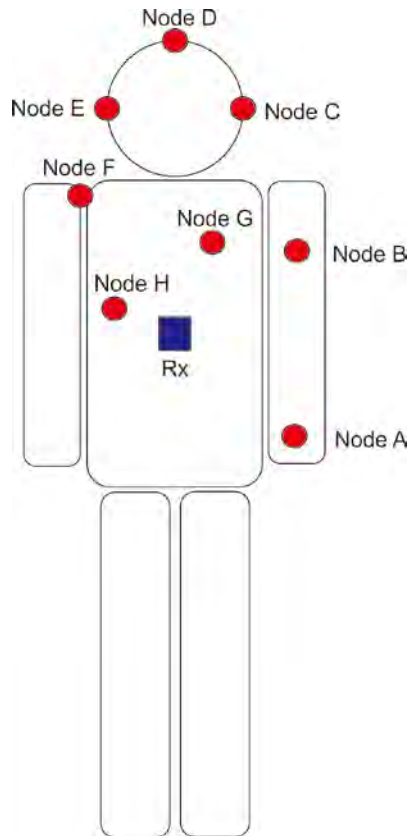


Gambar 3.1 Link komunikasi yang memungkinkan pada WBAN dengan frekuensi 2.4 GHz (*Bluetooth*).

Untuk penjelasan yang lebih lengkap akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

### 1.2.1 *Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK1 (Skenario 1)*

Pada Sub-bab ini membahas tentang model *path loss* pada skenario 1 dimana berpengaruh terhadap perubahan jarak antara antenna pengirim dan penerima. Posisi node pada tubuh dijelaskan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Posisi pengukuran skenario 1

Dimana persegi berwarna biru adalah node penerima dan lingkaran berwarna merah adalah node pengirim. Posisi pengukuran diambil berdasarkan tempat pada tubuh manusia yang kemungkinan dapat diukur sinyalnya. Jarak antar node dijelaskan pada tabel 3.3



**Tabel 3.3** Jarak antara node penerima dan node pengirim

Node	Jarak dari Rx (mm)
A	500
B	300
C	800
D	1000
E	800
F	700
G	400
H	200

Bentuk rumus *Path loss* yang digunakan adalah rumus yang bergantung pada fungsi jarak sehingga menjadi:

$$PL [dB] = a \log_{10} (d) + b + c + N \quad (3.1)$$

Dimana:

PL : *Path loss*

a dan b : koefisien linear

d : jarak Tx dan Rx dalam mm

N : variable fungsi normal dengan standar deviasi  $\sigma_N$

Selanjutnya adalah penjelasan tentang parameter-parameter yang digunakan dalam rumus *path loss*

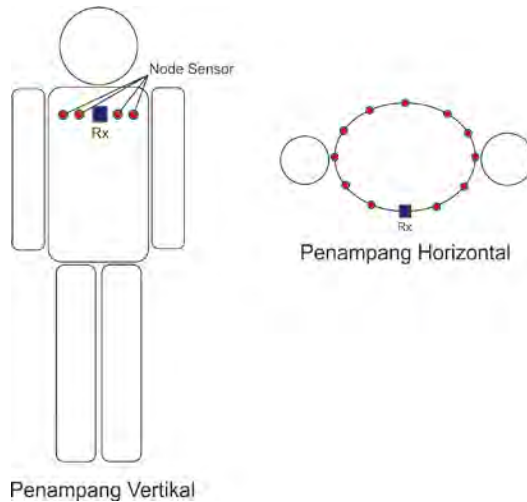
**Tabel 3.4** Parameter *Path loss*

Model <i>Path loss</i>	$PL[dB] = a \log_{10} (d) + b + c + N$
a	6.6
b	36.1
c	-7.5
$\sigma_N$	3.80

Penjelasan dan nilai dari parameter *path loss* yang digunakan didapatkan dari paper referensi [2]

### 1.2.2 Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK2 (Skenario 2)

Pada Sub-bab ini membahas tentang model *path loss* pada skenario 2 yang mana rumusnya bergantung kepada peluruhan eksponensial pada perimeter tubuh yang menyebabkan meningkatnya nilai *path loss* akibat jarak pengirim dan penerima yang tidak LOS (*line of sight*) dan komponen *multipath* dari lingkungan dalam ruangan.



Gambar 3.3 Posisi pengukuran skenario 2

Bentuk rumus *path loss* yang digunakan bergantung kepada nilai peluruhan eksponensial pada perimeter tubuh.

$$PL_{dB} = -10 \log_{10} (P_0 e^{-m_0 d} + P_1) + \sigma_p n_p \quad (3.2)$$

Dimana:

- PL : *Path loss*
- $P_0$  : rata-rata loss di dekat antenna
- $M_0$  : rata-rata peluruhan dalam dB/cm untuk perimeter permukaan tubuh
- $P_1$  : rata-rata attenuasi dari komponen di lingkungan dalam ruangan
- $\sigma_p$  : varian lognormal dalam dB

Pada skenario 2 disini dibahas mengenai antara permukaan tubuh dan permukaan tubuh yang tidak LOS (*line of sight*) oleh karena itu, nilai *small-scale fading* perlu diperhitungkan juga. Sehingga, rumus dari *fading* adalah:

$$K_{dB} = K_0 - m_K P_{dB} + \sigma_K n_K \quad (3.3)$$

Dimana:

- $K_0$  : pengukuran data untuk faktor K untuk *path loss* rendah  
 $M_K$  : penurunan dari korelasi linear antara *path loss* dan faktor K  
 $P_{dB}$  : *path loss* dalam dB  
 $\sigma_K$  : varian lognormal dari data pengukuran antara *path loss* dan faktor K  
 $N_K$  : mean unit dan varian dari variable acak Gauss

Selanjutnya adalah penjelasan tentang parameter-parameter yang digunakan dalam rumus *path loss*

**Tabel 3.5** Parameter *Path loss*

Model <i>Path loss</i>	$PL_{dB} = -10 \log_{10} (P_0 e^{-m_0 d} + P_1) + \sigma_p n_p$
$P_0$ (dB)	-25.8
$m_0$ (dB/cm)	2.0
$P_1$ (dB)	-71.3
$\sigma_p$ (dB)	3.6

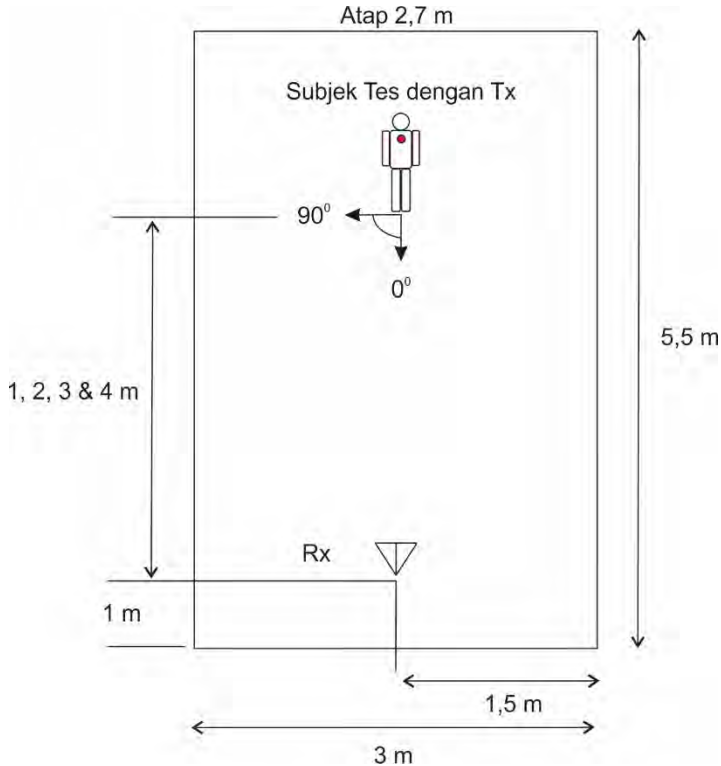
**Tabel 3.6** Parameter *Small-scale Fading*

Model <i>Path loss</i>	$K_{dB} = K_0 - m_K P_{dB} + \sigma_K n_K$
$K_0$ (dB)	30.6
$m_K$	0.43
$\sigma_K$ (dB)	3.4

Penjelasan dan nilai dari parameter *path loss* yang digunakan didapatkan dari paper referensi [3]

### 1.2.3 Permukaan Tubuh ke Node Eksternal MK3 & MK4 (Skenario 3 & 4)

Pada Sub-bab ini membahas tentang model *path loss* pada skenario S3 dan S4 yang mana adalah komunikasi WBAN antara permukaan tubuh dan node eksternal baik LOS (*line of sight*) maupun tidak.



Gambar 3.4 Posisi pengukuran skenario 3 & 4

Antenna pengirim pada tubuh manusia diletakkan pada area dada seperti digambarkan pada gambar 3.4. skenario pengukuran dilakukan dengan jarak antara antenna penerima dan antenna pengirim saat 1, 2, 3, dan 4 meter seperti digambarkan pada gambar 3.4. Di setiap

lokasi di ruangan, skenario pengukuran dilakukan dengan kondisi subjek menghadap ke 4 arah yang berbeda yaitu  $0^0$ ,  $90^0$ ,  $180^0$ ,  $270^0$ . Dimana  $0^0$  merepresentasikan bahwa subjek menghadap langsung ke antenna penerima dan  $90^0$  mmerepresentasikan subjek menghadap  $90^0$  ke kanan dari antena penerima seperti dijelaskan juga pada gambar 3.5. Durasi pengukuran yang dilakukan pada tiap lokasi adalah 10 detik yang kemudian dicari nilai rata-ratanya.

Bentuk rumus *path loss* yang digunakan adalah:

$$PL(t) = P_{tx} - P_{rx}(t) + G_{amplifiers} - L_{cable} + 10 \log_{10}(r) \quad (3.4)$$

Dimana:

$P_{tx}$  : daya yang ditransmisikan  
 $P_{rx}(t)$  : daya RMS yang diterima pada waktu  $t$   
 $G_{amplifiers}$  : gain amplifier  
 $L_{cable}$  : Loss kabel  
 $R$  : jarak antara antenna pengirim dan penerima

Dengan ketentuan:

$P_{tx}$  : 0 dBm  
 $G_{amplifiers}$  : LNA + Pre-amp = 55 dB  
 $L_{cable}$  : 10 dB  
 $r$  : 1, 2, 3, 4 m

Karena sensitivitas antena penerima terbatas, nilai *path loss* harus kurang dari 76 dB untuk membedakan sinyal yang ditransmisikan dengan noise.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

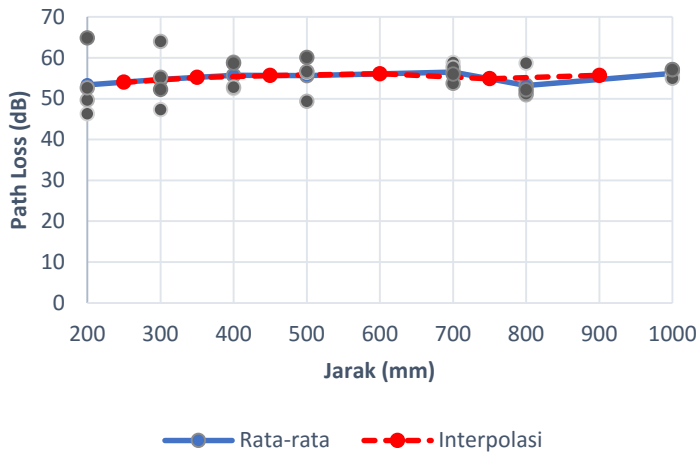
## BAB 4

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisa data hasil simulasi yang kemudian akan dibandingkan dengan data pada paper refensi sehingga dapat diketahui apakah data hasil dari simulasi dapat dibenarkan.

#### 1.1 Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK1 (Skenario 1)

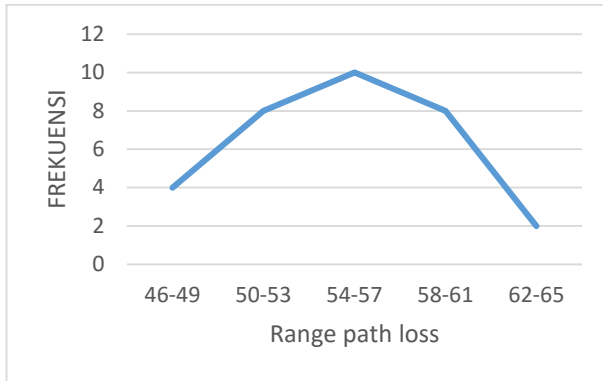
Hasil simulasi yang didapat adalah nilai *path loss* dalam dB yang mana diukur berdasarkan perbedaan jarak antara node pengirim dan node penerima.



Gambar 4.1 Nilai *Path loss* vs Jarak dalam empat kali pengukuran

Bisa dilihat pada gambar 4.1 pada setiap jarak yang diukur, 4 sampel kanal diambil yang mana data lengkapnya dapat dilihat di lampiran. Dari hasil *path loss* ini kita dapat mengetahui bentuk kanalnya dengan mencari fungsi yang memiliki *square error* yang rendah yang memenuhi data *path loss* diatas. Nilai plot *path loss* pada gambar 4.1 didapatkan dari persamaan (3.1).

Untuk dapat mengetahui jenis fungsi yang digunakan, perlu diketahui bentuk histogramnya seperti pada gambar 4.2 yang kemudian dicari nilai *square error* nya.



Gambar 4.2 Histogram data *Path loss* Skenario 1

Dengan menggunakan *software* ARENA, kita dapat mengetahui nilai *square error* dan rumus fungsi yang digunakan. Pendekatan menggunakan berbagai macam fungsi akan dijelaskan dibawah.

### 1.1.1 Pendekatan menggunakan Fungsi BETA

Pada Sub-bab ini dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi BETA yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain.

Dengan menggunakan fungsi BETA (2.3) dengan persamaan:

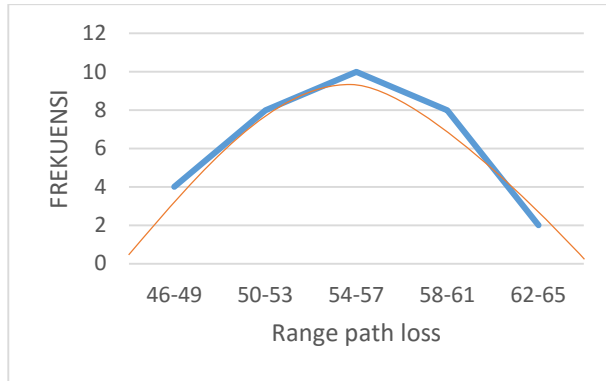
$$46 + 19 * \left( f(x; 1.76, 1.9) = \frac{1}{\beta(1.76, 1.9)} x^{1.76-1} (1-x)^{1.9-1} \right)$$

Dimana

$$\beta(1.76, 1.9) = \int_0^1 x^{1.76-1} (1-x)^{1.9-1}$$

Didapatkan nilai Mean Square Error sebesar 0,002741





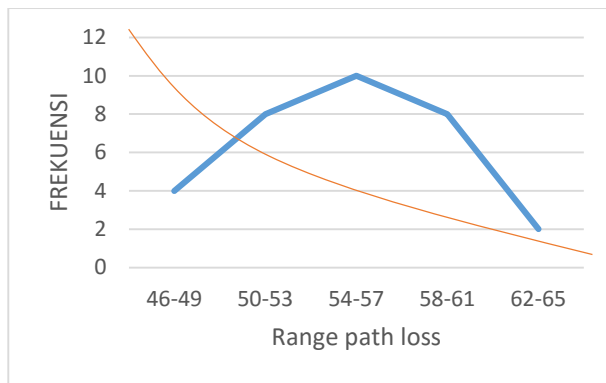
Gambar 4.3 Pendekatan menggunakan fungsi BETA

### 1.1.2 Pendekatan menggunakan Fungsi Eksponensial

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Eksponensial yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan persamaan eksponensial (2.5):

$$46 + 9.36e^{-9.36x}$$

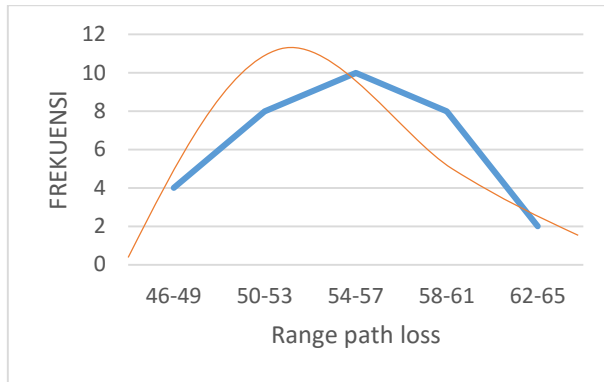
Didapatkan nilai MSE sebesar 0,094266



Gambar 4.4 Pendekatan menggunakan fungsi Eksponensial

### 1.1.3 Pendekatan menggunakan Fungsi Gamma

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Gamma yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain.



Gambar 4.5 Pendekatan menggunakan fungsi Gamma

Dengan menggunakan fungsi Gamma (2.6) dengan persamaan:

$$46 + \left( f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2.76^{3.4} \Gamma(3.4)} x^{3.4-1} e^{-\frac{x}{2.76}}, & x > 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases} \right)$$

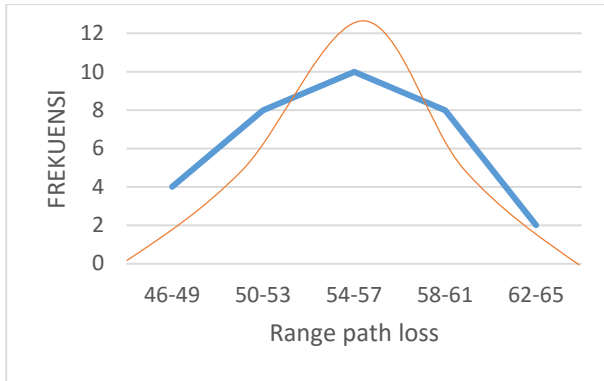
Didapatkan nilai MSE sebesar 0,016638

### 1.1.4 Pendekatan menggunakan Fungsi Normal

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Normal yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan menggunakan fungsi Normal (2.8) dengan persamaan:

$$f(x; 55.4, 4.37) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 4.37} e^{\left(-\frac{1}{2 \cdot 4.37} (x-55.4)^2\right)}$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,002797



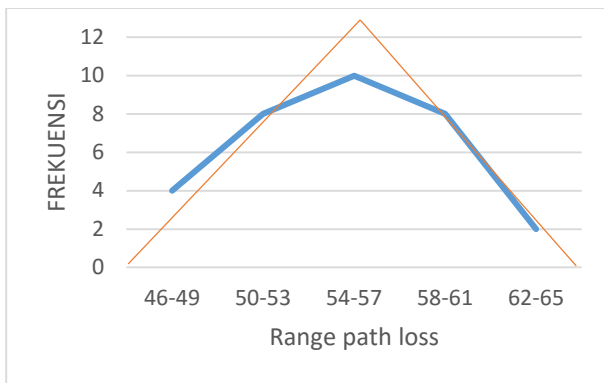
Gambar 4.6 Pendekatan menggunakan fungsi Normal

#### 1.1.5 Pendekatan menggunakan Fungsi Triangular

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Triangular yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan menggunakan fungsi Triangular (2.9) dengan persamaan:

$$TR(46, 55.1, 65)$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,004446



Gambar 4.7 Pendekatan menggunakan fungsi Triangular

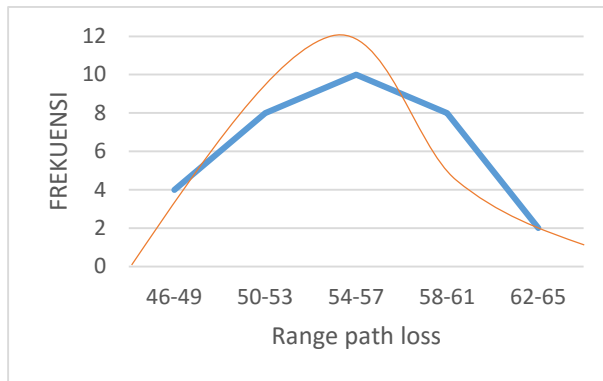
### 1.1.6 Pendekatan menggunakan Fungsi Weibull

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Weibull yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain.

Pada gambar 4.8 dijelaskan mengenai pendekatan menggunakan fungsi Weibull (2.10) dengan menggunakan persamaan:

$$46 + WEIB(10.4, 2.14) = \begin{cases} 10.4 * 2.14 x^{2.14-1} e^{-10.4x^{2.14}}, & x > 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases}$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,005517



Gambar 4.8 Pendekatan menggunakan fungsi Weibull

Dari semua proses pendekatan dengan menggunakan fungsi masing-masing yang dilakukan didapatkan nilai Mean Square Error dari tiap-tiap jenis fungsi yang kemudian kita dapat membandingkan antar satu sama lain dan kita dapat memilih jenis fungsi apa yang paling cocok digunakan pada kanal WBAN dengan komunikasi antar permukaan tubuh yang LOS (*line of sight*). Untuk dapat menentukan jenis fungsi yang paling cocok adalah dengan memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error paling rendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi dengan nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah sehingga kemungkinan terdapat lebih dari satu jenis fungsi yang dapat digunakan.

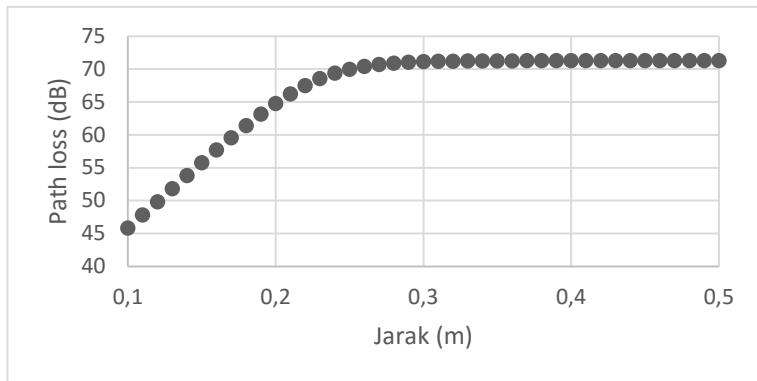
**Tabel 4.1** Nilai MSE dari Jenis Fungsi untuk skenario 1

Jenis Fungsi	Nilai MSE
BETA	0,002741
Eksponensial	0,094266
Gamma	0,016638
Lognormal	0,037997
Normal	0,002797
Triangular	0,004446
Weibull	0,005517

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA. Akan tetapi dapat didekati menggunakan fungsi Normal, Triangular, dan Weibull karena ketiga fungsi tersebut memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi BETA.

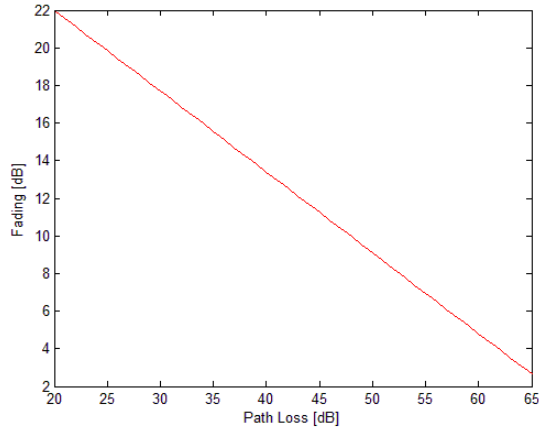
## 1.2 Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MK2 (Skenario 2)

Hasil simulasi yang didapat adalah nilai *Path loss* dalam dB yang mana berpengaruh terhadap jarak yang tidak LOS (*line of sight*) dan perbandingan antara *path loss* dengan *small scale fading* untuk membuktikan bahwa nilai *fading* berpengaruh terhadap *path loss*.



Gambar 4.9 Nilai *Path loss* vs Jarak

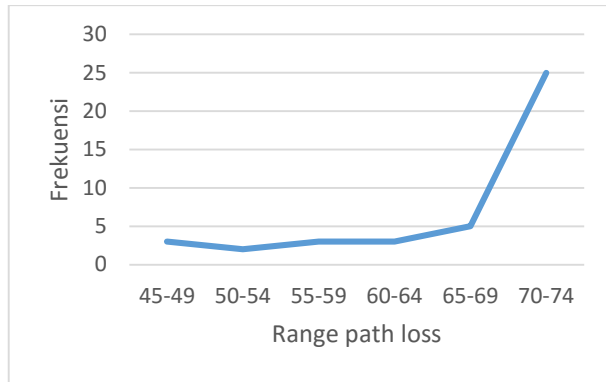
Gambar 4.9 menunjukkan nilai *path loss* pada sistem komunikasi WBAN yang NLOS (non-line of sight).



Gambar 4.10 Nilai *Small-scale Fading* vs *Path loss*

Gambar 4.10 adalah perbandingan nilai fading dengan nilai *path loss* dan kita dapat mengetahui bahwa saat nilai *fading* tinggi nilai *path loss* nya rendah dan ketika nilai *fading* nya rendah maka nilai *path loss* nya tinggi. Hasil plot nilai *path loss* pada gambar 4.9 didapatkan dari persamaan (3.2) yang kemudian dibandingkan dengan nilai *small scale fading* yang didapatkan dari persamaan (3.3).

Setelah mendapatkan nilai *path loss* dengan menggunakan persamaan (3.2) nilai *path loss* tersebut dimasukkan ke histogram sehingga didapat nilai PDF (*Probability Density Function*) dan kemudian kita melakukan fitting untuk mengetahui jenis distribusi apa yang tepat digunakan pada skenario 2 ini.

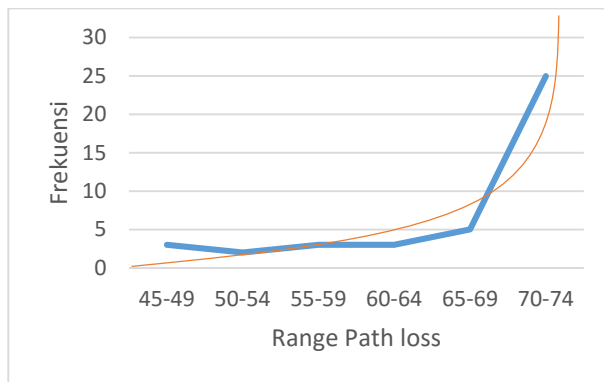


Gambar 4.11 Histogram data *Path loss* Skenario 2

Untuk selanjutnya, kita masukkan data tersebut ke dalam *software* ARENA untuk dapat mengetahui jenis fungsi mana yang memungkinkan untuk digunakan yang memiliki nilai MSE terendah.

### 1.2.1 Pendekatan menggunakan Fungsi BETA

Pada Sub-bab ini dilakukan proses pendekatan terhadap nilai *path loss* dengan menggunakan fungsi BETA yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain.



Gambar 4.12 Pendekatan menggunakan fungsi BETA

Gambar 4.12 menggambarkan bagaimana bentuk distribusi BETA bila dilakukan fitting dengan histogram yang sudah didapat sebelumnya. Dengan menggunakan distribusi BETA (2.3) dengan persamaan:

$$45 + 27 * \left( f(x; 1.52, 0.47) = \frac{1}{\beta(1.52, 0.47)} x^{1.52-1} (1-x)^{0.47-1} \right)$$

Dimana

$$\beta(1.52, 0.47) = \int_0^1 x^{1.52-1} (1-x)^{0.47-1}$$

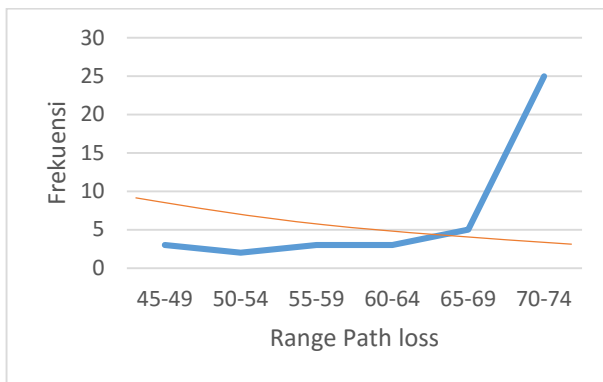
Didapatkan nilai MSE sebesar 0,021460

### 1.2.2 Pendekatan menggunakan Fungsi Eksponensial

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Eksponensial yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan persamaan eksponensial (2.5):

$$45 + 21.6e^{-21.6x}$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,444781

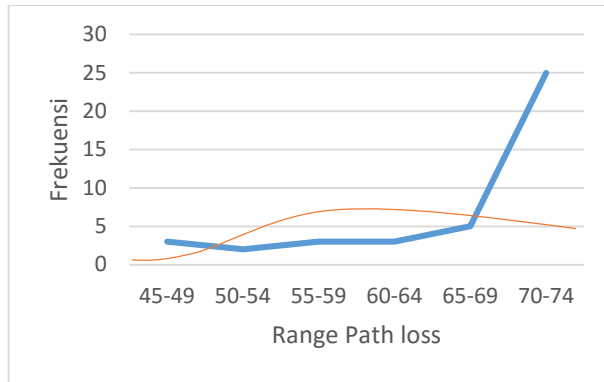


Gambar 4.13 Pendekatan menggunakan fungsi Eksponensial



### 1.2.3 Pendekatan menggunakan Fungsi Gamma

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Gamma yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain.



Gambar 4.14 Pendekatan menggunakan fungsi Gamma

Dengan menggunakan fungsi Gamma (2.6) dengan persamaan:

$$45 + \left( f(x) = \begin{cases} \frac{1}{3.65^{5.93} \Gamma(5.93)} x^{5.93-1} e^{-\frac{x}{3.65}}, & x > 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases} \right)$$

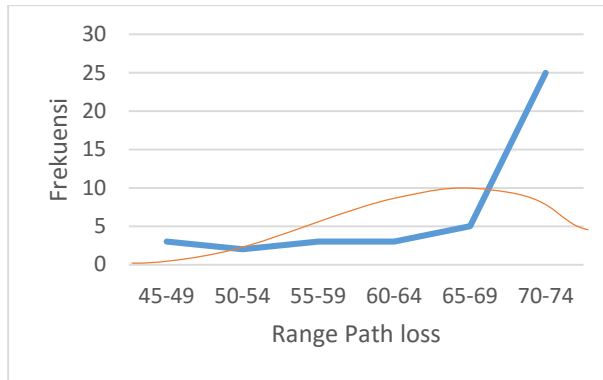
Didapatkan nilai MSE sebesar 0,369958

### 1.2.4 Pendekatan menggunakan Fungsi Normal

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Normal yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan menggunakan fungsi Normal (2.8) dengan persamaan:

$$f(x; 66.6, 7.46) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 7.46}} e^{\left(-\frac{1}{2 \cdot 7.46} (x - 66.6)^2\right)}$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,285980



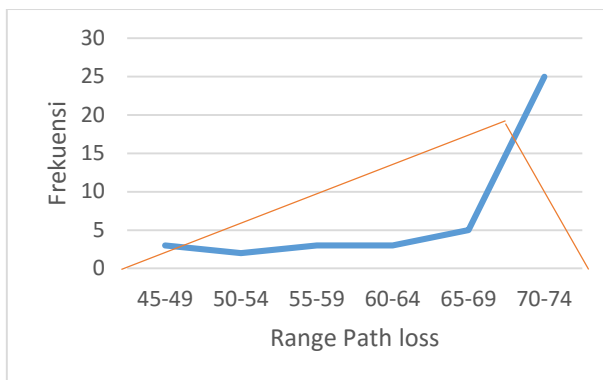
Gambar 4.15 Pendekatan menggunakan fungsi Normal

### 1.2.5 Pendekatan menggunakan Fungsi Triangular

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Triangular yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan menggunakan fungsi Triangular (2.9) dengan persamaan:

$$TR(45, 69.8, 72)$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,293839



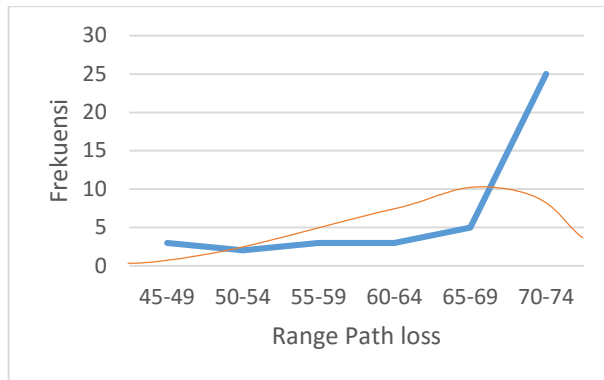
Gambar 4.16 Pendekatan menggunakan fungsi Triangular

### 1.2.6 Pendekatan menggunakan Fungsi Weibull

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan fungsi Triangular yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Dengan menggunakan fungsi Weibull (2.10) dengan persamaan:

$$45 + WEIB(23.7, 3.31) \begin{cases} 23.7 * 3.31 x^{3.31-1} e^{-23.7x^{3.31}}, & x > 0 \\ 0, & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases}$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,292966



Gambar 4.17 Pendekatan menggunakan fungsi Weibull

Dari semua proses pendekatan dengan menggunakan fungsi masing-masing yang dilakukan didapatkan nilai Mean Square Error dari tiap-tiap jenis fungsi yang kemudian kita dapat membandingkan antar satu sama lain dan kita dapat memilih jenis fungsi apa yang paling cocok digunakan pada kanal WBAN dengan komunikasi antar permukaan tubuh yang NLOS (*non-line of sight*). Untuk dapat menentukan jenis fungsi yang paling cocok adalah dengan memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error paling rendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi dengan nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah sehingga kemungkinan terdapat lebih dari satu jenis fungsi yang dapat digunakan.

**Tabel 4.2** Nilai MSE dari Jenis Fungsi untuk skenario 2

Jenis Fungsi	Nilai MSE
BETA	0,021460
Eksponensial	0,444781
Gamma	0,369958
Lognormal	0,407024
Normal	0,285980
Triangular	0,293839
Weibull	0,292966

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA. Jika dilihat dari nilai MSE tiap jenis fungsi, tidak ada yang memiliki nilai MSE yang mendekati fungsi BETA. Oleh karena itu, jenis fungsi yang paling mungkin digunakan adalah jenis fungsi BETA (2.3) dengan persamaan:

$$45 + 27 * \left( f(x; 1.52, 0.47) = \frac{1}{\beta(1.52, 0.47)} x^{1.52-1} (1-x)^{0.47-1} \right)$$

Dimana

$$\beta(1.52, 0.47) = \int_0^1 x^{1.52-1} (1-x)^{0.47-1}$$

Didapatkan nilai MSE sebesar 0,021460

### 1.3 Permukaan Tubuh ke Node Eksternal MK3 dan MK4 (Skenario 3 & 4)

Hasil simulasi yang didapat pada sub-bab ini adalah nilai *path loss* antara node yang berada di permukaan tubuh manusia dengan node eksternal yang jaraknya berubah dari 1, 2, 3 dan 4 meter. Dan orientasi tubuh berubah berdasarkan sudut dari 0°, 90°, 180° dan 270° dimana 0° adalah posisi LOS (*line of sight*) dan 90° adalah ketika posisi tubuh manusia menghadap ke kanan dan seterusnya. Dari tiap jarak dan orientasi dilakukan simulasi selama 10 detik untuk mengetahui bentuk kanalnya sehingga dapat diprediksi juga jenis fungsinya.

Tabel 4.3 menjelaskan tentang rata-rata nilai *path loss* dari tiap tiap orientasi tubuh yaitu 0°, 90°, 180° dan 270°. Nilai rata-rata tersebut didapatkan dari pengambilan data selama 10 detik dengan laju 1 sampel

per detik sehingga didapatkan 10 nilai *path loss* untuk masing-masing jarak dan orientasi tubuh. Dari tabel 4.4 dijelaskan jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terendah untuk masing-masing kondisi. Akan tetapi, dari masing-masing kondisi tersebut memiliki kemungkinan untuk dapat diprediksi menggunakan jenis fungsi yang lain yang memiliki nilai MSE yang hampir sama dengan jenis fungsi yang ditulis diatas. Penjelasan lebih lengkap akan dijelaskan pada sub-bab dibawah.

Untuk dapat menentukan jenis fungsi yang paling cocok adalah dengan memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error paling rendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi dengan nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah sehingga kemungkinan terdapat lebih dari satu jenis fungsi yang dapat digunakan.

**Tabel 4.3** Nilai *Path loss* Skenario 3 & 4

Jarak	Orientasi Tubuh	Rata- rata nilai <i>Path loss</i> (dB)
1	0	57,2
	90	57,5
	180	66,5
	270	58,2
2	0	60,4
	90	63,4
	180	66,3
	270	63,2
3	0	61,7
	90	63,1
	180	65,6
	270	65,0
4	0	63,3
	90	65,1
	180	66,6
	270	65,7

**Tabel 4.4** Jenis Fungsi Distribusi

Jarak	Orientasi Tubuh	Jenis Fungsi
1	0	BETA (1.07 , 0,913)
	90	Erlang (0.973 , 3)
	180	Normal (62.4 , 1.66)
	270	BETA (0.926 , 1.11)
2	0	Triangular (55 , 56.8 , 60.9)
	90	Lognormal (2.36 , 2.2)
	180	Triangular (59 , 61.4 , 67)
	270	Weibull (3.76 , 1.77)
3	0	Triangular (56 , 60.2 , 62)
	90	BETA (0.909 , 0.645)
	180	BETA (0.672 , 0.442)
	270	Gamma (1.522 , 2.42)
4	0	BETA (0.835 , 0.77)
	90	Triangular (55 , 61.6 , 66)
	180	Lognormal (3.54 , 2.69)
	270	BETA (0.947 , 0.558)

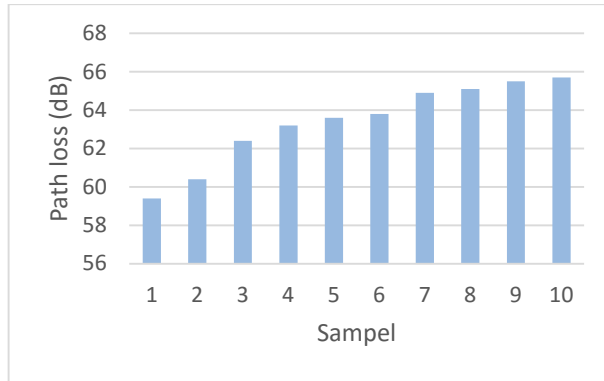
### 1.3.1 Simulasi skenario 3 & 4 pada jarak 1 meter

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi dari skenario 3 & 4 pada jarak 1 meter dari penerima dengan sudut orientasi  $0^0$  ,  $90^0$  ,  $180^0$  ,  $270^0$  seperti dijelaskan pada skenario bab 3.2.3

#### 1.3.1.1 Sudut Orientasi $0^0$

Pada sudut orientasi  $0^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.18 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.18 Histogram data *Path loss* pada jarak 1 meter dengan orientasai  $0^0$

**Tabel 4.5** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

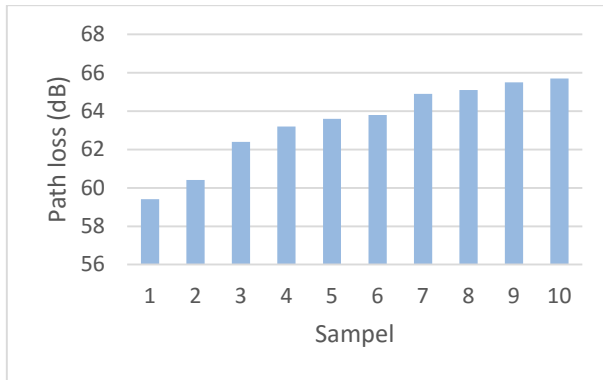
Jenis Fungsi	MSE
BETA	0,0184
Uniform	0,02
Normal	0,039
Triangular	0,04
Weibull	0,0552
Erlang	0,0651
Gamma	0,0671
Exponential	0,0837
Lognormal	0,0872

Dari tabel 4.5 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,0184. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi uniform dengan nilai MSE 0,02 , fungsi normal dengan nilai MSE 0,039 dan fungsi triangular dengan nilai MSE 0,04 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi BETA.

### 1.3.1.2 Sudut Orientasi 90°

Pada sudut orientasi 90° ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.19 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.19 Histogram data *Path loss* pada jarak 1 meter dengan orientasi 90°

**Tabel 4.6** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Erlang	0,0479
Lognormal	0,0484
Gamma	0,0489
Triangular	0,0534
Weibull	0,0599
Beta	0,0834
Normal	0,0876
Uniform	0,1
Exponential	0,138

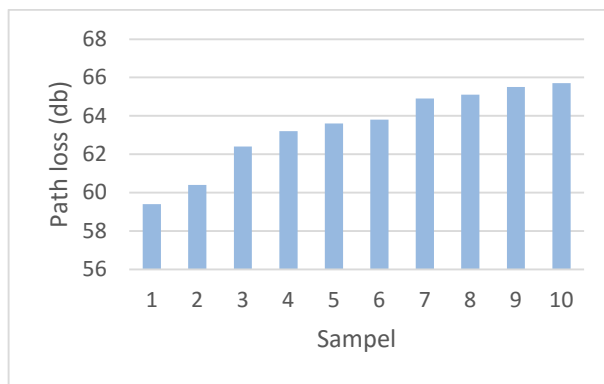


Dari tabel 4.6 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi Erlang dengan nilai MSE sebesar 0,0479. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi lognormal dengan nilai MSE 0,0484 dan fungsi gamma dengan nilai MSE 0,0489 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi Erlang.

### 1.3.1.3 Sudut Orientasi 180°

Pada sudut orientasi 180° ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.20 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.20 Histogram data *Path loss* pada jarak 1 meter dengan orientasi 180°

**Tabel 4.7** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

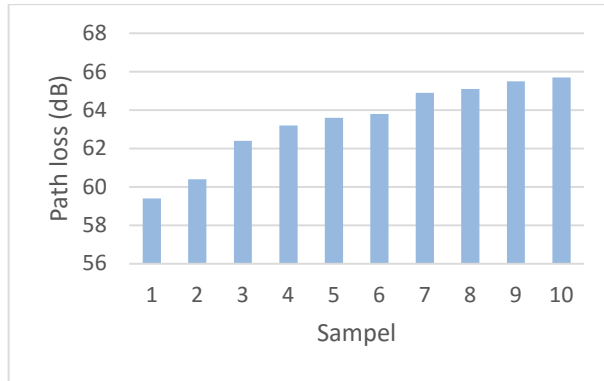
Jenis Fungsi	MSE
Normal	0,026
Gamma	0,032
Weibull	0,0336
Triangular	0,0381
Erlang	0,041
Lognormal	0,046
Beta	0,0502
Uniform	0,1
Exponential	0,116

Dari tabel 4.7 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi Normal dengan nilai MSE sebesar 0,026. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi gamma dengan nilai MSE 0,032 , fungsi weibull dengan nilai MSE 0,0336 dan fungsi triangular dengan nilai MSE 0,0381 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi Normal.

#### **1.3.1.4 Sudut Orientasi $270^0$**

Pada sudut orientasi  $270^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.21 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.21 Histogram data *Path loss* pada jarak 1 meter dengan orientasai  $270^0$

**Tabel 4.8** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Beta	0,0184
Erlang	0,0188
Gamma	0,0197
Uniform	0,02
Weibull	0,0215
Lognormal	0,0222
Normal	0,0389
Triangular	0,04
Exponential	0,0512

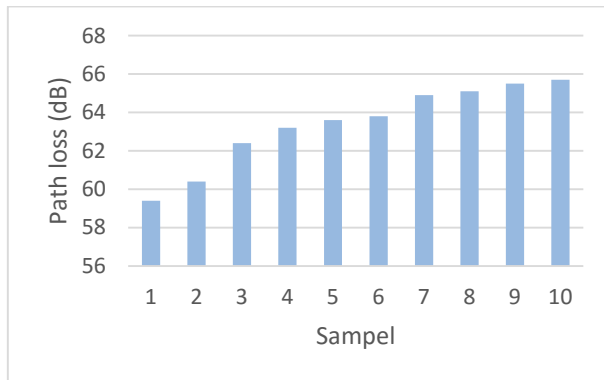
Dari tabel 4.8 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,0184. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi erlang dengan nilai MSE 0,0188 , fungsi gamma dengan nilai MSE 0,0197 dan fungsi uniform dengan nilai MSE 0,02 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi Normal.

### 1.3.2 Simulasi skenario 3 & 4 pada jarak 2 meter

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi dari skenario 3 & 4 pada jarak 2 meter dari penerima dengan sudut orientasi  $0^0$ ,  $90^0$ ,  $180^0$ ,  $270^0$ .

#### 1.3.2.1 Sudut Orientasi $0^0$

Pada sudut orientasi  $0^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.22 dibawah.



Gambar 4.22 Histogram data *Path loss* pada jarak 2 meter dengan orientasi  $0^0$

**Tabel 4.9** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

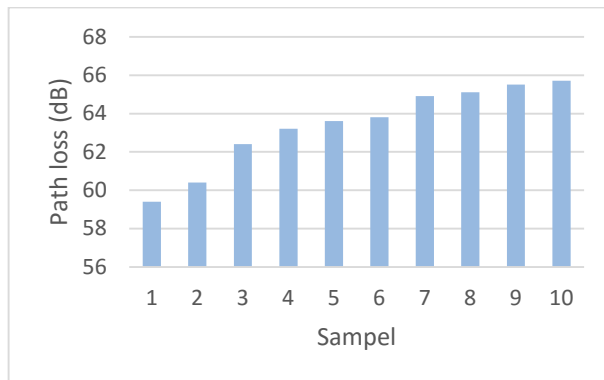
Jenis Fungsi	MSE
Triangular	0,0296
Beta	0,0313
Normal	0,0326
Uniform	0,04
Weibull	0,0874
Erlang	0,101
Exponential	0,101
Gamma	0,13
Lognormal	0,232

Kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain.

Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah. Dari tabel 4.9 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi triangular dengan nilai MSE sebesar 0,0296. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi BETA dengan nilai MSE 0,0313 dan fungsi normal dengan nilai MSE 0,0326 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi triangular.

### 1.3.2.2 Sudut Orientasi 90°

Pada sudut orientasi 90° ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.23 dibawah. Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.23 Histogram data *Path loss* pada jarak 2 meter dengan orientasi 90°

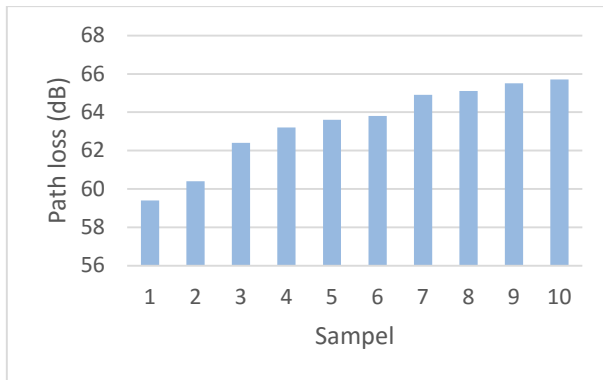
**Tabel 4.10** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Lognormal	0,0147
Erlang	0,0207
Gamma	0,0215
Weibull	0,0255
Exponential	0,0368
Beta	0,0438
Triangular	0,056
Normal	0,0783
Uniform	0,14

Dari tabel 4.10 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi Lognormal dengan nilai MSE sebesar 0,0147. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi erlang dengan nilai MSE 0,0207 , fungsi gamma dengan nilai MSE 0,0215 dan fungsi gamma dengan nilai MSE 0,0255 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi lognormal.

### 1.3.2.3 Sudut Orientasi $180^0$

Pada sudut orientasi  $180^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.24 dibawah.



Gambar 4.24 Histogram data *Path loss* pada jarak 2 meter dengan orientasai  $180^0$

**Tabel 4.11** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Triangular	0,0134
Weibull	0,0216
Gamma	0,0223
Lognormal	0,0298
Erlang	0,0311
Normal	0,0311
Beta	0,0336
Uniform	0,06
Exponential	0,112

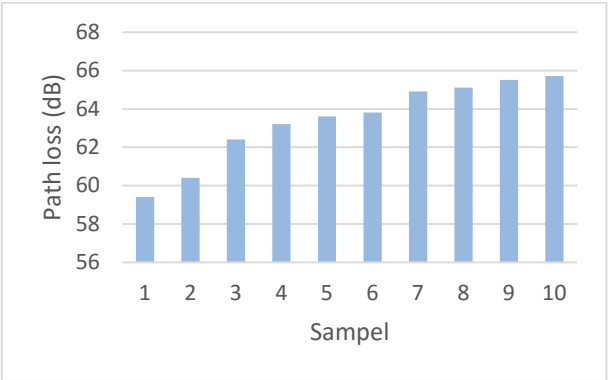
Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah. Dari tabel 4.11 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi triangular dengan nilai MSE sebesar 0,0134. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi Weibull dengan nilai MSE 0,0216 , fungsi gamma dengan nilai MSE 0,0223 dan fungsi lognormal dengan nilai MSE 0,0298 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi triangular.

#### **1.3.2.4 Sudut Orientasi 270°**

Pada sudut orientasi 270° ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.25 dibawah

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari

masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.25 Histogram data *Path loss* pada jarak 2 meter dengan orientasai 270<sup>o</sup>

**Tabel 4.12** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Beta	0,00407
Weibull	0,00991
Erlang	0,0116
Gamma	0,0117
Triangular	0,0145
Lognormal	0,0173
Normal	0,0176
Uniform	0,02
Exponential	0,0525

Dari tabel 4.12 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,00407. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi weibull dengan nilai MSE 0,00991 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi BETA.



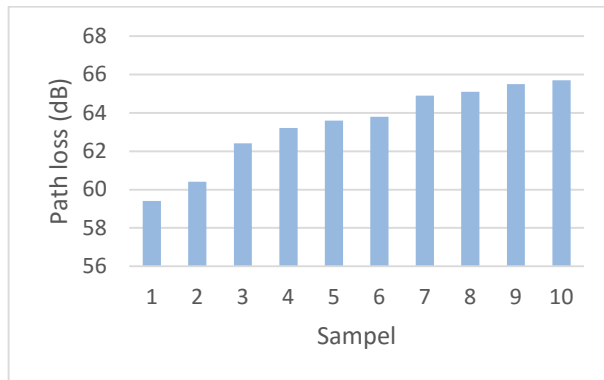
### 1.3.3 Simulasi skenario 3 & 4 pada jarak 3 meter

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi dari skenario 3 & 4 pada jarak 3 meter dari penerima dengan sudut orientasi  $0^0$ ,  $90^0$ ,  $180^0$ ,  $270^0$ .

#### 1.3.3.1 Sudut Orientasi $0^0$

Pada sudut orientasi  $0^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.26 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.26 Histogram data *Path loss* pada jarak 3 meter dengan orientasai  $0^0$

Dari tabel 4.13 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi triangular dengan nilai MSE sebesar 0,0362. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi normal dengan nilai MSE 0,0533 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi triangular.

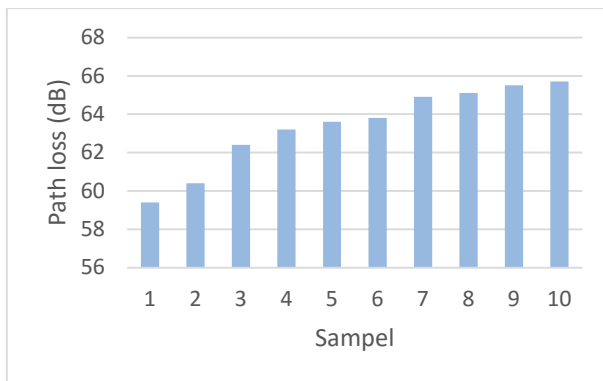
**Tabel 4.13** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Triangular	0,0362
Normal	0,0533
Beta	0,0553
Uniform	0,06
Weibull	0,0746
Gamma	0,0911
Erlang	0,0912
Lognormal	0,114
Exponential	0,115

#### 1.3.3.2 Sudut Orientasi $90^0$

Pada sudut orientasi  $90^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.27 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.27 Histogram data *Path loss* pada jarak 3 meter dengan orientasai  $90^0$

Dari tabel 4.14 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,0785. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi uniform dengan nilai MSE 0,1 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi BETA.

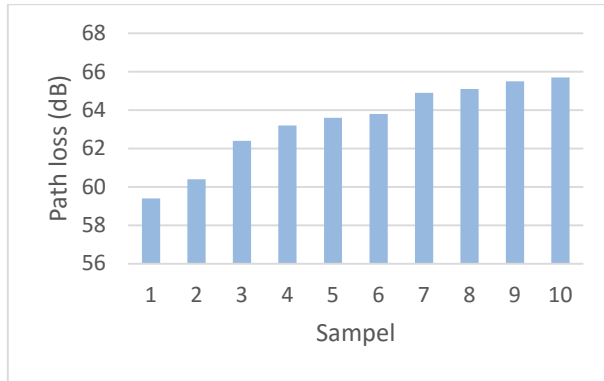
**Tabel 4.14** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Beta	0,0785
Uniform	0,1
Triangular	0,116
Normal	0,132
Weibull	0,162
Gamma	0,171
Exponential	0,179
Erlang	0,179
Lognormal	0,205

### 1.3.3.3 Sudut Orientasi $180^\circ$

Pada sudut orientasi  $180^\circ$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.28 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.28 Histogram data *Path loss* pada jarak 3 meter dengan orientasai  $180^0$

Dari tabel 4.15 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,00696. Akan tetapi pada kasus ini, tidak dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan fungsi lain karena nilai MSE yang sangat jauh berbeda sehingga akan menyebabkan kemungkinan error yang tinggi jika dipaksakan menggunakan fungsi jenis lain.

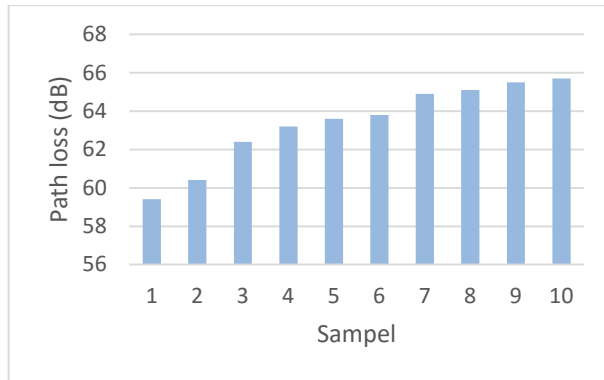
**Tabel 4.15** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Beta	0,00696
Uniform	0,12
Triangular	0,129
Normal	0,17
Weibull	0,189
Gamma	0,196
Erlang	0,197
Exponential	0,2
Lognormal	0,215

#### 1.3.3.4 Sudut Orientasi 270<sup>0</sup>

Pada sudut orientasi 270<sup>0</sup> ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.29 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.29 Histogram data *Path loss* pada jarak 3 meter dengan orientasai 270<sup>0</sup>

Dari tabel 4.16 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi gamma dengan nilai MSE sebesar 0,0418. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi weibull dengan nilai MSE 0,0418 , fungsi Erlang dengan nilai MSE 0,0434 , fungsi lognormal dengan nilai MSE 0,047 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi gamma.

**Tabel 4.16** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Gamma	0,0418
Weibull	0,0418
Erlang	0,0434
Lognormal	0,047
Beta	0,0526
Normal	0,0551
Triangular	0,0554
Uniform	0,06
Exponential	0,0873

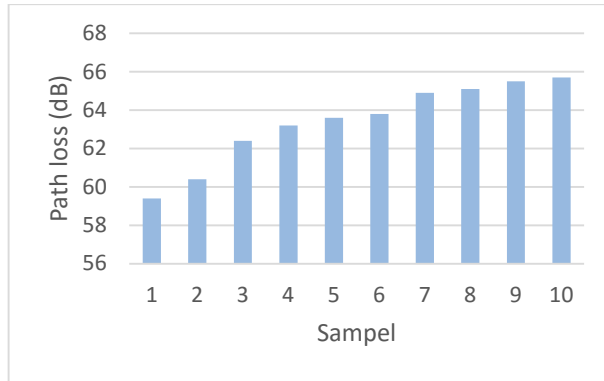
#### **1.3.4 Simulasi skenario 3 & 4 pada jarak 4 meter**

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi dari skenario 3 & 4 pada jarak 4 meter dari penerima dengan sudut orientasi  $0^0$ ,  $90^0$ ,  $180^0$ ,  $270^0$ .

##### **1.3.4.1 Sudut Orientasi $0^0$**

Pada sudut orientasi  $0^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.30 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.30 Histogram data *Path loss* pada jarak 4 meter dengan orientasai  $0^0$

**Tabel 4.17** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

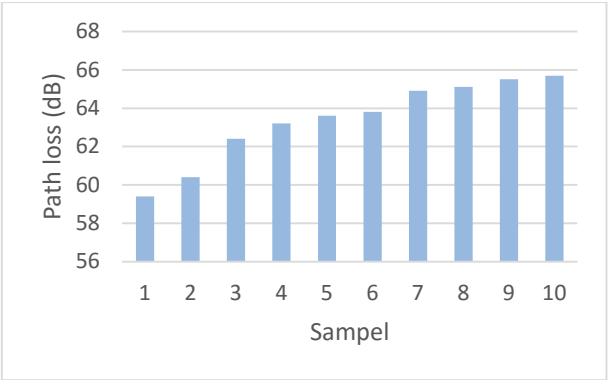
Jenis Fungsi	MSE
Beta	0,0308
Uniform	0,04
Normal	0,0697
Weibull	0,078
Gamma	0,0858
Erlang	0,0861
Exponential	0,105
Triangular	0,106
Lognormal	0,106

Dari tabel 4.16 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,0308. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi uniform dengan nilai MSE 0,04 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi BETA.

#### 1.3.4.2 Sudut Orientasi $90^0$

Pada sudut orientasi  $90^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.31 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.31 Histogram data *Path loss* pada jarak 4 meter dengan orientasai  $90^0$

**Tabel 4.18** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Triangular	0,00233
Normal	0,00361
Beta	0,00691
Weibull	0,00962
Erlang	0,0256
Gamma	0,0269
Uniform	0,04
Lognormal	0,0512
Exponential	0,109

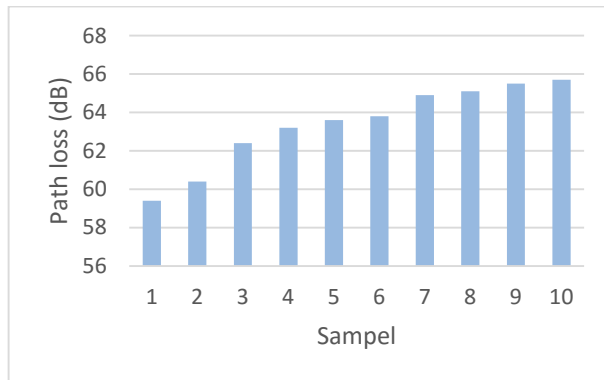
Dari tabel 4.18 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah



fungsi triangular dengan nilai MSE sebesar 0,00233. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi normal dengan nilai MSE 0,00361 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi triangular.

#### 1.3.4.3 Sudut Orientasi 180°

Pada sudut orientasi 180° ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.32 dibawah.



Gambar 4.32 Histogram data *Path loss* pada jarak 4 meter dengan orientasai 180°

**Tabel 4.19** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

Jenis Fungsi	MSE
Lognormal	0,0539
Gamma	0,056
Triangular	0,0562
Erlang	0,0566
Weibull	0,0597
Beta	0,065
Normal	0,0729
Uniform	0,08
Exponential	0,131

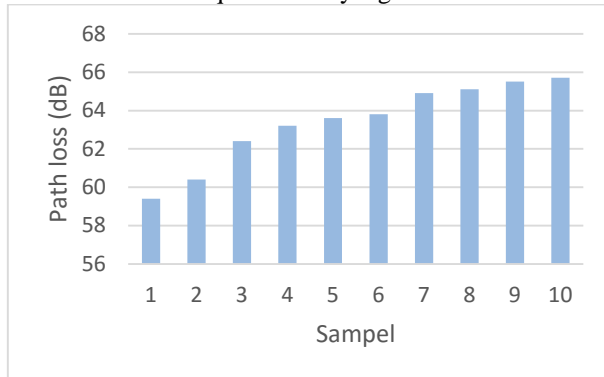
Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada

sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah. Dari tabel 4.19 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi lognormal dengan nilai MSE sebesar 0,0539. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi gamma dengan nilai MSE 0,056 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi lognormal.

#### 1.3.4.4 Sudut Orientasi $270^0$

Pada sudut orientasi  $270^0$  ini didapatkan grafik histogram seperti pada gambar 4.33 dibawah.

Selanjutnya dilakukan proses pendekatan terhadap nilai path loss dengan menggunakan berbagai jenis fungsi yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya yang kemudian akan dihitung nilai Mean Square Error nya sehingga kemudian kita dapat membandingkan dengan pendekatan fungsi lain. Setelah didapatkan nilai Mean Square Error dari masing-masing jenis fungsi kita kemudian memilih jenis fungsi yang memiliki nilai terendah. Akan tetapi kita juga dapat memilih jenis fungsi yang memiliki nilai Mean Square Error yang mendekati nilai terendah.



Gambar 4.33 Histogram data *Path loss* pada jarak 4 meter dengan orientasi  $270^0$

**Tabel 4.20** Nilai MSE dari masing-masing jenis fungsi

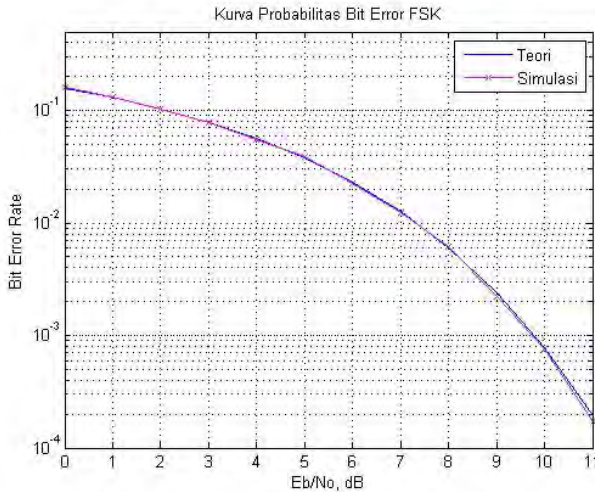
Jenis Fungsi	MSE
Beta	0,0209
Triangular	0,0316
Normal	0,0762
Uniform	0,08
Weibull	0,103
Gamma	0,133
Erlang	0,138
Lognormal	0,165
Exponential	0,184

Dari tabel 4.20 kita dapat mengetahui nilai MSE dari masing-masing fungsi. Jenis fungsi yang memiliki nilai MSE terkecil adalah fungsi BETA dengan nilai MSE sebesar 0,0209. Namun, kita dapat melakukan pendekatan menggunakan fungsi lain yaitu fungsi triangular dengan nilai MSE 0,0316 karena dari jenis fungsi diatas memiliki nilai MSE yang tidak jauh berbeda dengan nilai MSE dari fungsi BETA.

#### **1.4 Penerapan pada Sistem *Bluetooth***

*Bluetooth* adalah standart komunikasi jarak dekat dengan laju data sebesar 3 Mbps dan jarak sekitar 10 meter. *Bluetooth* digunakan pada sistem WBAN karena memiliki *bandwidth* yang lebar dan latensi yang rendah. *Bluetooth* juga dapat digunakan pada banyak platform selular.

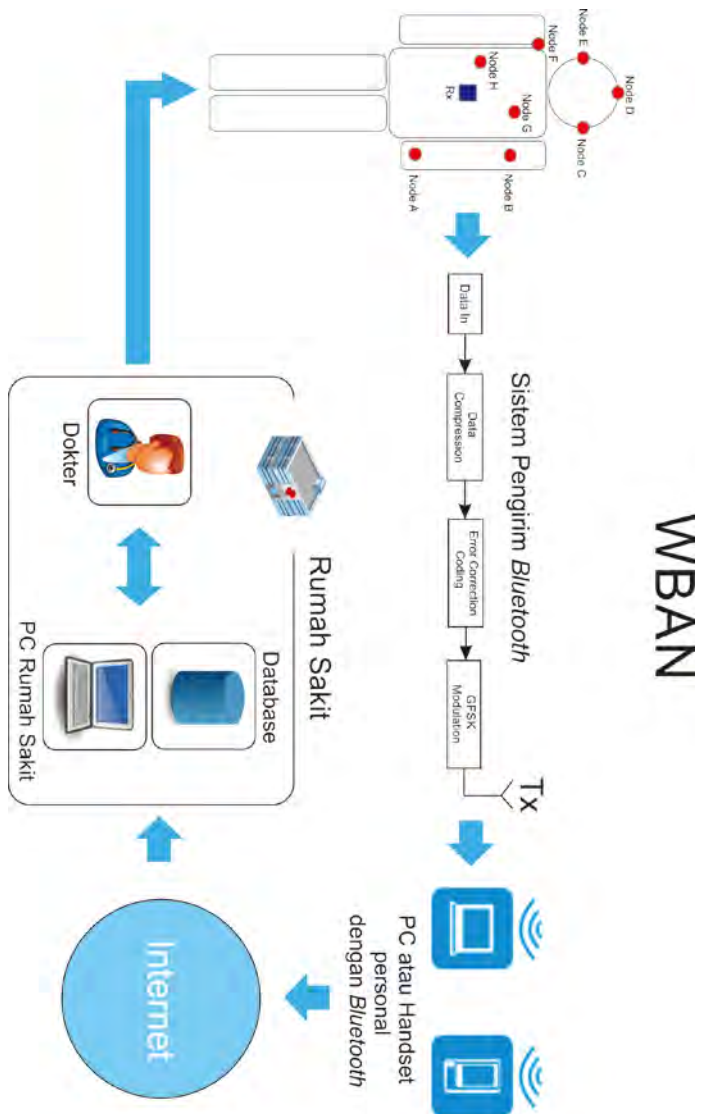
Karena aplikasi WBAN membutuhkan laju data komunikasi yang tinggi, model kanal pada WBAN harus tidak terpengaruh oleh gangguan pada kanal. Skema modulasi digunakan pada WBAN untuk mendapatkan laju data yang tinggi pada penerima. Pada sistem *Bluetooth* digunakan teknik modulasi *Gaussian Frequency Shift Keying* (GFSK) seperti dijelaskan pada gambar 2.3.



Gambar 4.34 BER vs SNR dari modulasi GFSK pada kanal AWGN

Gambar 4.34 menjelaskan simulasi dari modulasi GFSK yang membandingkan antara teori dengan hasil simulasi. Dari gambar 4.34 dapat dilihat bahwa saat nilai SNR 10 dB, didapatkan nilai BER sekitar  $10^{-3}$  yang mana merupakan nilai BER yang rendah sehingga cocok untuk digunakan pada aplikasi sistem WBAN.

Selanjutnya adalah bagaimana bentuk dari aplikasi WBAN menggunakan teknologi *Bluetooth*. Dari gambar 4.35 dijelaskan tentang rancangan sistem WBAN mulai dari node sensor hingga ke dokter. Dari gambar dapat dilihat bahwa tiap node sensor yang ada di tubuh digambarkan dengan kotak berwarna merah mengirimkan data ke node utama yang ada di tubuh dan dilambangkan dengan kotak berwarna biru yang kemudian mengirimkan sinyal data ke PC ataupun handset yang memiliki sistem *Bluetooth* tertanam dengan menggunakan teknik modulasi GFSK yang kemudian sinyal data tersebut dikirimkan ke database rumah sakit melalui internet. Dari database tersebut, dokter dapat melihat dan memonitor node sensor yang diletakkan pada pasien yang kemudian dapat memberikan diagnosa yang digunakan untuk menentukan tindakan yang sesuai dengan kondisi pasien.



Gambar 4.35 Rancangan WBAN dengan menggunakan teknologi *Bluetooth*

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# LAMPIRAN

## A. Pengesahan Proposal Tugas Akhir

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri – ITS

TE141599TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Rizal Nur Ibrahim  
Nomor Pokok : 2212100039  
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2015/2016  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
2. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D  
Judul Tugas Akhir : **Pemodelan Kanal Pada Jaringan Area Tubuh Nirkabel Menggunakan Teknologi Bluetooth.**  
(*Channel Modelling in Wireless Body Area Network using Bluetooth Technology*).

10 FEB 2016

### Uraian Tugas Akhir :

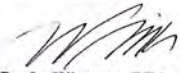
Pada *wireless body area network* (WBAN), propagasi radio dari node sensor yang berada di permukaan tubuh manusia sangat kompleks dan unik bila dibandingkan dengan lingkungan yang lain karena tubuh manusia memiliki bentuk yang kompleks dan terdiri dari jaringan tubuh manusia yang berbeda-beda. Oleh karena itu, model kanalnya juga berbeda dengan model kanal di lingkungan lain.


Telekomunikasi nirkabel pada aplikasi jaringan area tubuh membutuhkan *Medium Access Control* (MAC) yang dapat beradaptasi, dinamis, dan fleksibel untuk mengatasi berbagai persyaratan aplikasi. MAC yang diusulkan menyesuaikan protokol komunikasi dan parameter yang berdasarkan kepada pencapaian konsumsi daya rendah dan laju data yang tinggi untuk itu dipilih salah satu teknologi komunikasi yang memungkinkan untuk hal ini yaitu *Bluetooth*. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan kanal pada WBAN khususnya adalah monitor tekanan darah agar mendapatkan bentuk kanal yang sesuai dengan karakteristik tubuh manusia. Dimana pemodelan kanal ini di fokuskan pada teknologi *Bluetooth* dengan frekuensi 2.4 GHz. Selain itu, dalam pengerjaannya dilakukan simulasi menggunakan *software* MATLAB.

Kata Kunci : *Wireless Body Area Network, Channel Model, Bluetooth*

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

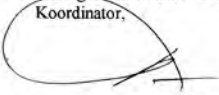
  
Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
NIP. 196311091989031011

  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197210012003121002

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS  
Ketua

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Koordinator,

  
Dr. Eng. Ardoyo Priyadi, ST., M.Eng.  
NIP. 197309271998031004

  
Dr. Ir. Endroyono, DEA  
NIP. 1965040419910210

## B. Kode Program MATLAB

Pada lampiran Sub-Bab ini akan dilampirkan kode program simulasi MATLAB yang digunakan untuk melakukan perhitungan pada buku ini.

### a) Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MKI (Skenario 1)

```
Function          path_loss_in_db          =
pathloss(frekuensi, N_ch, jarak)
% frekuensi: ( 1: 2.4 GHz)
% N_ch: jumlah kanal
% jarak: jarak dalam mm
if frekuensi == 1
a = 6.60;
b = 36.1;
sigma_s = 3.80;
end
path_loss_in_db =
a*log10(jarak)+b+sigma_s*randn(1,N_ch);
```

### b) Permukaan Tubuh ke Permukaan Tubuh MKI (Skenario 2)

#### a. Nilai Path loss

```
d = [0.1:0.01:0.5];
lambda(1)=0.0026;
lambda(2)=46.0931;
lambda(3)=7.4683e-8;
plot(d,-10*log10(lambda(1).*exp(-
lambda(2).*d) + lambda(3)),'r');
pl_nlos_db = -10*log10(lambda(1).*exp(-
lambda(2).*d) + lambda(3))
title('Nilai Path loss');
xlabel('Jarak [m]');
ylabel('Path loss [dB]');
```

#### b. Small-Scale Fade VS Path loss

```
x = [-65:-20];
```



```

PK1=0.43;
PK2=30.6;
plot(-x,(PK2 + PK1*x),'r')
smallscalefade = (PK2 + PK1*x)
title('K VS Path loss');
xlabel('Path loss [dB]');
ylabel('K [dB]');

```

**c) Permukaan Tubuh ke Node Eksternal MK2 (Skenario 3 & 4)**

```

clear all;close all;clc;
prx = -randi(20,10,10);
for ii = 1:length(prx(:,1));
Prx(ii,:) = mean(prx(ii,:));
end
Ptx=0;
pre_amp=30;
LNA = 25;
loss_cable = 10;
R = 4.5
for kk = 1:length(prx(:,1));
PL(kk,:) = Ptx-Prx(kk,:)+(LNA+pre_amp)-
loss_cable+10*log10(R);
end
prx=prx
PL=PL
maxPL=max(PL)

```

### C. Nilai *Path loss* pada Skenario 1

**Tabel A.1** Nilai *Path loss* Skenario 1

Sampel	Jarak							
	200	300	400	500	700	800	800	1000
1	46,3176	47,3194	52,4947	56,4649	58,8095	58,6363	60,7262	55,5115
2	49,6391	63,9817	52,8018	49,3248	57,6398	50,9015	56,4961	54,9825
3	52,5888	55,2055	58,9344	56,6387	53,7246	51,1987	52,3917	57,113
4	64,8847	52,2094	58,6279	60,1081	55,9944	52,1843	60,4675	57,0889

### D. Nilai *Path loss* pada Skenario 2

**Tabel A.2** Nilai *Path loss* Skenario 2

Jarak	<i>Path loss</i>	Jarak	<i>Path loss</i>	Jarak	<i>Path loss</i>
0,1	45,85574	0,24	69,37483	0,38	71,26405
0,11	47,85023	0,25	69,982	0,39	71,26543
0,12	49,84046	0,26	70,41378	0,4	71,2663
0,13	51,82399	0,27	70,70996	0,41	71,26684
0,14	53,79698	0,28	70,90772	0,42	71,26719
0,15	55,75349	0,29	71,03724	0,43	71,26741
0,16	57,68443	0,3	71,12096	0,44	71,26755
0,17	59,5762	0,31	71,17461	0,45	71,26763
0,18	61,40907	0,32	71,20879	0,46	71,26769
0,19	63,1558	0,33	71,23048	0,47	71,26772
0,2	64,78157	0,34	71,24422	0,48	71,26775
0,21	66,2468	0,35	71,25291	0,49	71,26776
0,22	67,51408	0,36	71,25839	0,5	71,26777
0,23	68,55821	0,37	71,26186		

## E. Nilai *Path loss* pada Skenario 3 & 4

### a) Jarak 1 Meter

**Tabel A.3** Nilai *Path loss* Skenario 3 & 4 pada jarak 1 meter

Jarak	Orientasi			
	0	90	180	270
1 Meter	53,3	57,4	61,9	55,4
	55,4	54,4	60,4	58,2
	54,9	55,4	61,6	56,9
	57,2	54,4	63	56,3
	56,4	53,3	61,4	55
	56,6	54,4	66,5	54,8
	53,7	57,5	63,5	53,4
	54,7	55,1	63,1	57,7
	56,8	54,9	61	53,9
	55,8	52,4	61,5	54,3
Maksimum	57,2	57,5	66,5	58,2

### b) Jarak 2 Meter

**Tabel A.4** Nilai *Path loss* Skenario 3 & 4 pada jarak 2 meter

Jarak	Orientasi			
	0	90	180	270
2 Meter	57,3	58,2	59,5	57,9
	57,4	59,7	61,9	59,3
	58,3	57,3	63,5	61,4
	58,3	60,3	64,2	63,3
	57,3	58,5	65,2	56,6
	55,0	63,5	62,7	58,9
	58,6	58,2	66,3	57,1
	60,4	59,7	60,6	58,7
	60,1	58,4	60,6	60,9
	56,8	59	61,1	59,6
Maksimum	60,4	63,5	66,3	63,3

c) Jarak 3 Meter

**Tabel A.5** Nilai *Path loss* Skenario 3 & 4 pada jarak 3 meter

Jarak	Orientasi			
	0	90	180	270
3 Meter	59,2	57,1	65,6	60,9
	56,3	62,8	62,5	65,1
	60,8	61,7	65,1	58,3
	60,1	61,7	61	59,9
	57,8	62,8	65,3	61,7
	60,1	58	63,8	60,5
	57,1	63,2	59,7	64,2
	60,6	59,6	64,6	59,1
	59,6	61,5	64,8	61
	61,7	61,7	59,5	57,9
Maksimum	61,7	63,2	65,6	65,1

d) Jarak 4 Meter

**Tabel A.6** Nilai *Path loss* Skenario 3 & 4 pada jarak 4 meter

Jarak	Orientasi			
	0	90	180	270
4 Meter	59,6	60,5	62,9	65,7
	62,8	65,1	60,6	64,9
	60,1	60,6	61,8	63,8
	63,3	55,6	62,3	63,2
	61,2	60,7	66,6	65,1
	61,2	58,5	64,9	62,4
	59,2	59,2	62,1	60,4
	62,9	61,9	62,3	63,6
	62,6	63,1	65	59,4
	61,6	63,3	65,5	65,5
Maksimum	63,3	65,1	66,6	65,7

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan tentang proses, hasil pengujian dan cara pengukuran telah dibuat. Saran pada bab ini juga diperlukan demi kelancaran penelitian mengenai WBAN selanjutnya.

#### **1.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Untuk mendapatkan bentuk kanal WBAN yang sesuai diperlukan perhitungan nilai *path loss* yang kemudian dicari bentuk fungsi distribusi yang mendekati bentuk nilai *path loss* tersebut atau memiliki nilai MSE (*mean square error*) yang rendah.
2. Rumus *path loss* yang digunakan pada WBAN berbeda dengan rumus *path loss* pada umumnya, karena rumus *path loss* pada WBAN digunakan untuk mengukur pada lingkungan tubuh manusia yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda, unik, dan kompleks.
3. Bentuk Kanal yang paling mungkin digunakan pada WBAN adalah kanal yang memiliki nilai *Mean Square Error* (MSE) terendah.
  - a. Untuk Skenario 1, kanal yang dapat digunakan adalah jenis kanal BETA dan kanal Normal.
  - b. Untuk Skenario 2, kanal yang dapat digunakan adalah jenis kanal BETA
  - c. Untuk skenario 3 & 4, jenis kanal yang didapat beragam untuk masing-masing jarak dan orientasi yang dapat dilihat pada tabel 4.4

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Yazdandoost and K. Sayrafian, “*Channel Model for Body Area Network (BAN).*” 15-08-0033-02-0006-draft-of-channel-model-for-body-area-network.
- [2] Takahiro Aoyagi, Jun-ichi Takada, Kenichi Takizawa, Norihiko Katayama, Takehiko Kobayashi, Kamyar Yekeh Yazdandoost, Huan-bang Li and Ryuji Kohno, “*Channel model for wearable and implantable WBANs.*” IEEE 802.15-08-0416-04-0006, November 2008.
- [3] Guido Dolmans and Andrew Fort, “*Channel models WBAN-Holst centre/IMEC-NL,*” IEEE 802.15-08-0418-01-0006, July 2008
- [4] Dino Miniutti, Leif Hanlen, David Smith, Andrew Zhang, Daniel Lewis, David Rodda, Ben Gilbert, “*Narrowband on body to off body channel characterization for BAN*” IEEE 802.15-08-0559-00-0006, August 2008
- [5] Attaphongse Taparugssanagorn, Alberto Rabbachin, Matti Hämäläinen, Jani Saloranta, and Jari Iinatti, “*A Review of Channel Modelling for Wireless Body Area Network in Wireless Medical Communications.*”, University of Oulu : Finland.
- [6] Sandeep K. S. Gupta, Tridib Mukherjee, and K. Kumar V. , “*Body Area Networks safety, Security, and Sustainability.*”, Cambridge

## BIOGRAFI PENULIS



Rizal Nur Ibrahim lahir di Surabaya, 30 Mei 1995. Bungsu dari 3 bersaudara ini telah menempuh pendidikan dasar di Surabaya yaitu yang terakhir adalah SMA Negeri 15 Surabaya hingga akhirnya sekarang berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknk Elektro, bidang studi Telekomunikasi Multimedia angkatan 2012. Penulis adalah koordinator asisten Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, telah aktif sebagai asisten praktikum Dasar Sistem Telekomunikasi selama 2 periode terakhir dan juga praktikum Komunikasi Data selama 2 periode. Penulis juga pernah melakukan tugas proyek mengenai steganografi pada mata kuliah Pengolahan Sinyal Multimedia.